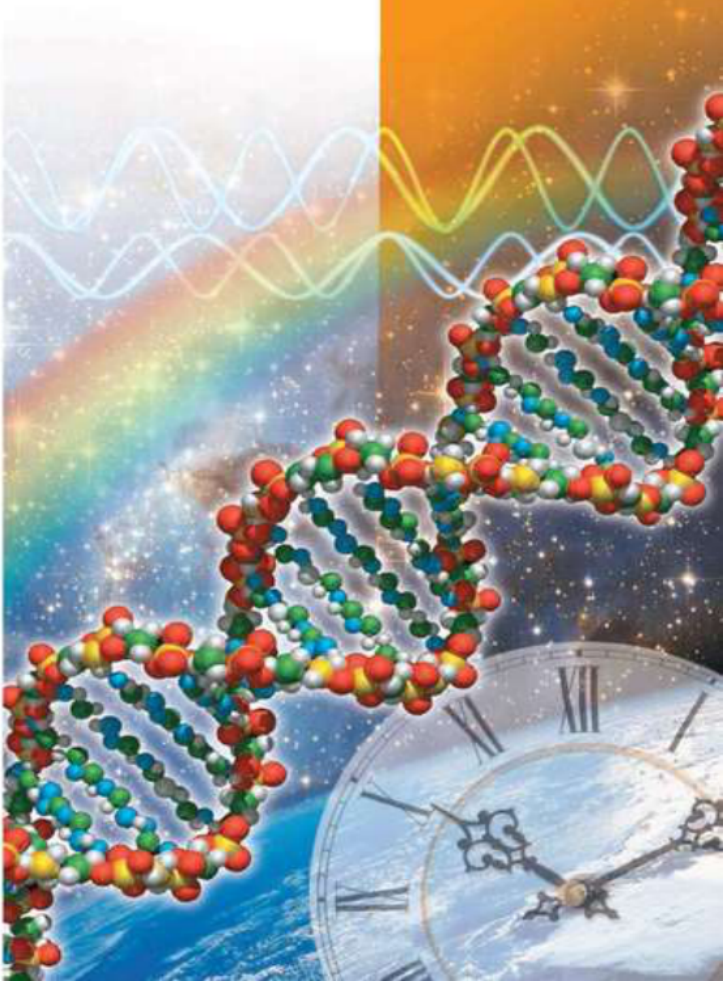
С. А. Титов, И. Б. Агафонова,
В. И. Сивоглазов

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

КЛАСС



ВЕРТИКАЛЬ

ДРОФА

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего (полного) общего образования и рассчитан на преподавание предмета из расчета 3 часа в неделю.

Учебник объединяет сведения об основных законах и закономерностях, наиболее важных открытиях и достижениях в области химии, физики, астрономии, что формирует у учащихся представление о природе как целостной системе, а также о взаимосвязи человека, природы и общества.

Современное оформление, многоуровневые вопросы и задания, дополнительная информация и возможность параллельной работы с электронным приложением способствуют эффективному усвоению учебного материала.

Учебник адресован учащимся 10 класса.

- С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов
  - ○
  - ○ Введение
  - ○ Возникновение и развитие естествознания
    - ■ § 1 Возникновение познания
    - ■ § 2 Античная натурфилософия
    - ■ § 3 Наука и техника в поздней античности
    - ■ § 4 От натурфилософии к науке
    - ■ § 5 Рождение науки
    - ■ § 6 Наблюдение и эксперимент
    - ■ § 7 Измерение
    - ■ § 8 Представление экспериментальных данных и математическая обработка
    - ■ § 9 Математическое моделирование
    - ■ § 10 Научный метод. Гипотезы и теории
    - ■ § 11 Естествознание и другие способы человеческого познания
  - ○ Мир, который мы ощущаем
    - ■ § 12 Пространство, время, материя
    - ■ § 13 Пространство и расстояние
    - ■ § 14 Время и длительность
    - ■ § 15 Измерение времени. Часы
    - ■ § 16 Движение
    - ■ § 17 Относительное движение
    - ■ § 18 Сила, масса, ускорение
    - ■ § 19 Закон всемирного тяготения

- § 20 Третий закон Ньютона. Импульс и его сохранение
- § 21 Криволинейное вращательное движение
- § 22 Периодическое движение: вращение и колебание
- § 23 Свободные и вынужденные колебания. Резонанс
- § 24 Волны
- § 25 Звук
- § 26 Электростатическое взаимодействие
- § 27 Физические поля
- § 28 Движение электрических зарядов
- § 29 Электромагнитное поле
- § 30 Электромагнитные волны
- § 31 Виды электромагнитных волн
- § 32 Общие свойства волн
- § 33 Потенциальная энергия
- § 34 Кинетическая энергия
- § 35 Трение и сопротивление среды
- § 36 Законы сохранения в природе

○ Объекты и законы микромира
- § 37 Миры, о которых мы знаем
- § 38 Атомы: от Демокрита до Томсона
- § 39 Открытие радиоактивности и модель атома Резерфорда
- § 40 Что такое свет
- § 41 Фотоэффект
- § 42 Спектры излучения и поглощения
- § 43 Атомная модель Бора
- § 44 Основные понятия квантовой физики
- § 45 Современные представления о строении атома
- § 46 Ядерный распад и элементарные частицы

○ Химические элементы и вещества
- § 47 Периодический закон и периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева
- § 48 Строение атома и свойства химических элементов
- § 49 Валентность. Химическая связь
- § 50 Химические реакции
- § 51 Скорость и энергия химических реакций
- § 52 Строение и свойства неорганических веществ. Кислоты и основания
- § 53 Соли и их применение

        - § 54 Строение и свойства органических веществ
        - § 55 Циклические органические соединения
        - § 56 Высокомолекулярные соединения
        - § 57 Соединения, необходимые для существования жизни: нуклеиновые кислоты, полисахариды
        - § 58 Соединения, необходимые для существования жизни: белки, липиды
    - Земля и вселенная
        - § 59 Как и что мы видим во вселенной
        - § 60 Как исследуют вселенную
        - § 61 Земля и её вращение
        - § 62 Земля и её строение
        - § 63 Солнечная система
        - § 64 Звёзды, галактики, метагалактика
        - § 65 Возникновение и эволюция вселенной
        - § 66 Скорость света
        - § 67 Основы теории относительности
    - Системы и их исследования
        - § 68 Хаос и закономерность
        - § 69 Симметрия
        - § 7 Системы и системный подход
        - § 71 Методы исследования систем
        - § 72 Вероятность
        - § 73 Условная вероятность и случайные процессы
        - § 74 Статистические методы в естественных и гуманитарных науках
    - Нобелевские лауреаты XXI в.
        -
        - Нобелевские лауреаты по химии XXI в.
        - Нобелевские лауреаты по физике XXI в.
        - Нобелевские лауреаты по физиологии и медицине XXI в.
    - Приложение
        - Памятки для ученика
    - Список рекомендуемых интернет-сайтов
- notes
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
    - 6

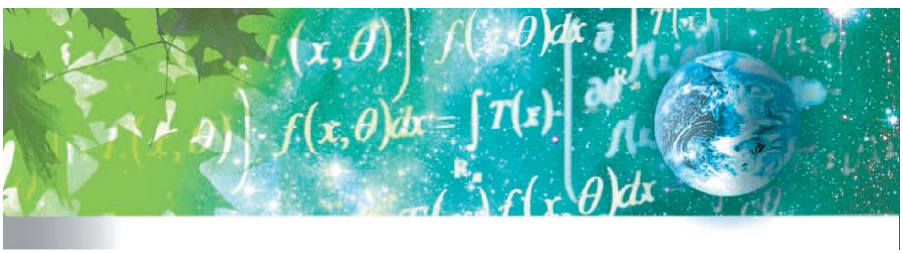
- ○ 7
- ○ 8
- ○ 9
- ○ 10
- ○ 11
- ○ 12
- ○ 13
- ○ 14
- ○ 15
- ○ 16
- ○ 17
- ○ 18
- ○ 19
- ○ 20
- ○ 21
- ○ 22
- ○ 23
- ○ 24

С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов

Естествознание. Базовый уровень. 10 класс

Учебник

2-е издание, доработанное



Введение

…Науке можно учить как увлекательнейшей части человеческой истории – как быстро развивающемуся росту смелых гипотез, контролируемых экспериментом и критикой. Преподаваемая таким образом, т. е. как часть истории «естественной философии» и истории проблем и идей, она могла бы стать основой нового свободного университетского образования, целью которого (там, где оно не может готовить специалистов) было бы готовить, по крайней мере, людей, которые могли бы отличить шарлатана от специалиста.

Карл Поппер, социолог и философ науки

Дорогие старшеклассники!

Естествознание представляет собой систему наук о природе. Всё, что окружает нас, обеспечивает, облегчает, а иногда, к сожалению, и усложняет наше существование, мы называем природой. Объекты, которые составляют природу, могут быть мельчайшими, как атомы, или огромными, как звёзды; они могут быть неживыми, живыми и даже разумными; могут быть устроены относительно просто, как кристаллы соли, или невероятно сложно, как живой организм, но в любом случае их поведение подчиняется строгим законам – законам Природы, которым подчиняются все явления, происходящие во Вселенной. Знание этих законов позволяет не только объяснить происходящие вокруг нас явления, но и предсказывать их, создавать технические устройства, предупреждать и излечивать многие опасные болезни – одним словом, облегчать жизнь людей, делать её гораздо более комфортной и безопасной.

Существует мнение, что все науки можно разделить на естественные и гуманитарные, представители которых часто не

понимают друг друга. На самом деле, естествознание и гуманитарное знание являются двумя сторонами единой культуры, и между ними нет чёткой границы раздела. Естествознание влияет на мышление человека, на его деятельность в общественной, литературной и художественной сферах, а гуманитарная культура воздействует на стиль и характер мышления естествоиспытателей, придавая им определённое направление.

В этом году вы узнаете, что в основе всего многообразия природных процессов лежит всего несколько закономерностей, которые являются очень логичными и сравнительно простыми для понимания.

Работая с учебником, постоянно оценивайте свои достижения. Довольны ли вы ими? Что нового вы узнаёте при изучении новой темы? Как могут пригодится вам эти знания в повседневной жизни? Если какой-то материал покажется вам сложным, обратитесь за помощью к учителю или воспользуйтесь справочной литературой и ресурсами Интернета. Список рекомендуемых интернет-сайтов вы найдёте в конце учебника.

Возникновение и развитие естествознания

§ 1 Возникновение познания

В оный день, когда над миром новым
Бог склонял лицо своё, тогда
Солнце останавливали словом,
Словом разрушали города.

А для низкой жизни были числа,
Как домашний, подъярёмный скот,
Потому что все оттенки смысла
Умное число передаёт.

Н. Гумилёв

Способность ориентироваться в окружающей обстановке необходима для выживания каждому живому существу. Умение вовремя распознать опасность и постараться её избежать, найти, достать или поймать пищу, правильно отыскать партнёра для размножения – всё это необходимые условия существования каждого животного. У низших видов нормы правильного поведения заложены генетически, т. е. являются врождёнными. Такое поведение называют рефлекторным или инстинктивным. Чем выше на эволюционной лестнице стоит животное, тем большее значение в его поведении имеют приобретённые в течение жизни знания, т. е. научение. У животных, заботящихся о потомстве (птиц и млекопитающих) важную роль на начальном этапе обучения играют старшие особи, в первую очередь родители. У детёнышей хорошо обучающихся видов животных сильно развит инстинкт подражания, благодаря которому они копируют и запоминают поведение взрослых, а те в свою очередь часто воспроизводят перед потомством наиболее важные действия («делай как я»). В дальнейшем взрослое животное в течение своей жизни приобретает свой личный опыт, используя так называемый «метод проб и ошибок». Поэтому теми животными, которые живут стаями, часто руководит достаточно старый и опытный вожак, подражая которому молодые

совершенствуют своё поведение.

Однако ни одно животное по возможностям обучения не может даже отдалённо сравниться с человеком. От всех остальных животных человека отличает способность к речи, которая служит средством не только общения, но и познания окружающего мира. Конечно, у многих видов животных для общения между собой существуют элементарные «языки» с использованием звуков, движений или жестов. Иногда эти «языки» используют достаточно богатый и разнообразный набор знаков, помогающий их обладателям выбрать в данных условиях правильный тип поведения. Однако «язык» животных отличает от языка человека одна принципиальная особенность – его знаки выражают только описание ситуации: опасность, еда, выражение угрозы или, наоборот, приглашение к сотрудничеству (рис. 1).

Рис. 1. Животные для общения используют звуки, жесты, движения

Только человек в своём языке умеет обозначать конкретные предметы. Он может сказать «дерево», «река», «камень», имея в виду эти предметы вообще, а не те, которые он реально в данный момент наблюдает. Для владения таким языком требуется умение выделять абстрактные признаки, по которым одну группу предметов можно отличить от другой группы. Любой камень можно назвать камнем независимо от его размеров, формы и местоположения, т. е. любой конкретный предмет можно отнести к определённой ***категории.*** Для различения предметов внутри какой-то категории человек использует определения: камень может быть большим или маленьким, круглым или длинным, дерево – высоким или низким, зелёным или сухим. При этом слово, допустим, «большой» может относиться к разным категориям: большим может быть и дерево, и камень, и животное, и река. То же относится и к словам, обозначающим действие, – глаголам. Лететь может и птица, и камень, и облака. Так люди выработали абстрактные понятия, с помощью которых можно описывать не только то, что реально сейчас наблюдается, но и то, что было раньше, возможно, будет потом, или то, что вообще может когда-нибудь быть или, наоборот, не быть.

С возникновением языка человек получил возможность использовать принципиально новые способы обучения потомства. Теперь стало возможным обучать не только по принципу «делай как я», но и рассказывать о том, что в принципе может случиться, как вести себя в таких предполагаемых условиях. Можно описывать признаки, позволяющие отнести новый, ещё незнакомый предмет к определённой категории или, напротив, позволяющие отличать одну категорию предметов от другой. Для того чтобы иметь возможность планировать свои действия, возникла потребность в установлении связей между причинами и следствиями, а также связей, существующих в пространстве и во времени между различными категориями предметов. Это было началом ***объяснения*** человеком происходящих вокруг него явлений. Так появилось то, что впоследствии было названо ***познанием окружающего мира.***

Возможность планировать достаточно отдалённые последствия того, что происходит в настоящее время, достигать с помощью этого желаемых результатов и избегать нежелательных резко выделила человека среди других видов обитавших в то время животных. Несмотря на то что человек значительно уступал многим из них в физической силе, ловкости и скорости передвижения, он очень скоро оказался победителем в борьбе за существование. Это случилось потому, что с помощью

способности к познанию человек стал не только приспосабливаться к окружающим условиям, но и преобразовывать их для своих нужд.

Уже на ранних стадиях развития общества люди неплохо ориентировались в географии окружающей местности, запечатлевая её либо в виде примитивных карт, либо в песнях и сказаниях, где подробно и последовательно описывался путь, ведущий в нужное место.

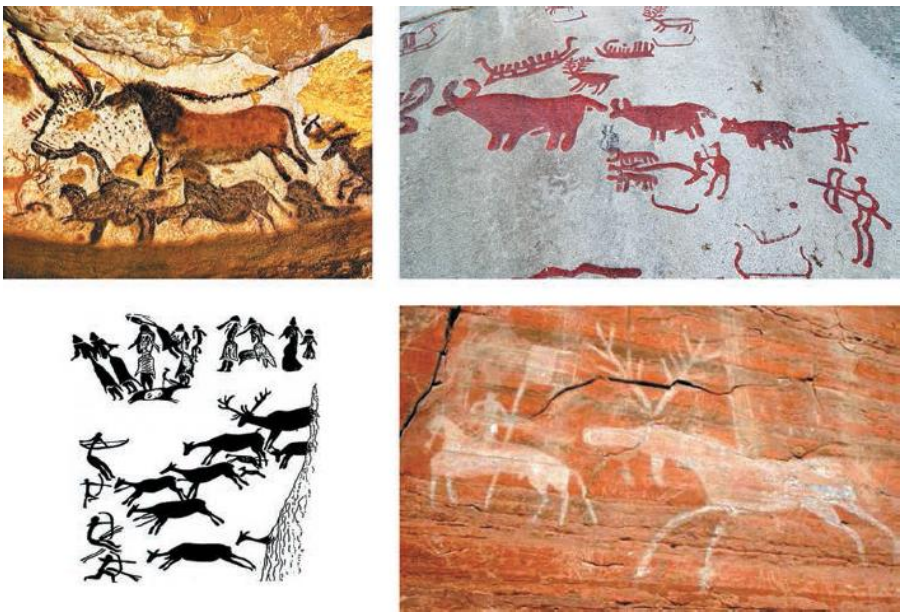


Рис. 2. Наскальные рисунки наших предков

Известен случай, когда где-то в пустыне Австралии заблудилась группа европейских путешественников. Вывел её проводник, который сам никогда здесь не бывал, но знал песню местного племени.

Наши предки хорошо разбирались в анатомии животных и человека, что видно по сохранившимся наскальным рисункам (рис. 2). Знание строения человеческого тела использовалось в первобытной медицине для лечения ран и переломов, для проведения операций, в том числе и на черепе. Овладение огнём и ношение шкур животных позволило человеку заселить абсолютно непригодные ему по климату области Земли.

Одной из интереснейших особенностей развития раннего человеческого мышления было возникновение способности к абстрактному счёту, к пониманию, что такое число. Для этого важно было уяснить, что численность чего-нибудь можно осмыслить вне этого «чего-нибудь». Если, например, я вижу шесть

быков, то понимаю, что «шесть» может относиться не только к быкам, но и к камням, людям или любым другим предметам. Для того чтобы запомнить число увиденных животных или препятствий на дороге, можно было отложить такое же число камешков или палочек. Впоследствии люди научились использовать для счёта искусственные произведения: зарубки, насечки, узелки и т. п. Как вы узнаете дальше, именно понятие числа легло в значительной мере в основу древнегреческой философии, а через неё – в основу современного естествознания.

Итак, на ранних этапах своего развития человек научился познавать и преобразовывать окружающий его мир. Этому способствовали появление речи, использование абстрактных понятий и абстрактных чисел. Впоследствии произошёл ещё один революционный перелом в истории познания – речь стала не только устной, но и письменной. Появилась возможность широчайшего распространения знаний как в пространстве, так и во времени. Человек мог узнать не только то, что накопили в своём личном опыте люди его рода или племени, но и то, что происходило в давние времена в далёких землях. И ограниченный объём памяти отдельного человека больше не являлся препятствием к широкому распространению знаний. Это послужило предпосылкой к появлению единого знания человечества, из которого впоследствии и возникла *наука.*

Проверьте свои знания

1. Что отличает речь человека от «языка» животных?

2. Как способность к познанию позволила древним людям широко расселиться по Земле?

3. Какие преимущества получил человек после изобретения письменности?

Задания

1. Назовите сходства и различия между объектами, относящимися к категориям «рыба» и «птица». К какой общей категории они относятся?

2. Выразите высказывание «высоко низко голова больно» на современном литературном языке. Какие части речи и обороты вам пришлось добавить?

§ 2 Античная натурфилософия

Представляется мне, что для начала должно разграничить вот какие две вещи: что есть вечное, не имеющее возникновения бытие и что есть вечно возникающее, но никогда не сущее. То, что постигается с помощью размышления и рассуждения, очевидно, и есть вечно тождественное бытие; а то, что подвластно мнению и неразумному ощущению, возникает и гибнет, но никогда не существует на самом деле.

Платон. Тимей

Философы Древней Греции

Основным истоком современного естествознания является философская мысль Древней Греции. Разумеется, жители Эллады создавали свои представления не на пустом месте. Глубокие и обширные знания об окружающем человека мире существовали и использовались в ещё более давние времена, например в Вавилоне, Египте и Китае. Такие изобретения, как обожжённый кирпич, гончарный круг и колёсный экипаж, были известны уже более чем за три тысячи лет до н. э. Во втором тысячелетии до н. э. люди уже использовали весы, циркуль, рычаги, водяные часы, умели выплавлять и обрабатывать металлы, перемещаться по воде с помощью вёсел и парусов. Значительные успехи были достигнуты в медицине и сельском хозяйстве: широко использовались всевозможные лечебные снадобья и хирургические вмешательства, люди умели орошать и осушать земли и использовали искусственное опыление сельскохозяйственных растений.

Создаётся, однако, впечатление, что эти технические достижения не возникли в результате применения каких-либо научных знаний или теорий. Скорее наоборот – попытки осознать окружающий мир, нарисовать его общую картину появились в результате практического использования технических изобретений. Разумеется, древние вавилоняне и египтяне

великолепно ориентировались в астрономии, могли очень точно рассчитывать движение Солнца, Луны и планет и измерять время, но и эти знания носили чисто практический характер и никак не были связаны с пониманием устройства мира, объяснение которого целиком было отдано религии. При этом ни в коем случае не надо думать, что техника и религия находились в каком-либо противоречии. Наоборот, жрецы в храмах часто прекрасно совмещали богословские рассуждения и религиозные обряды с занятиями астрономией и техникой. Но то, что можно назвать именно наукой, т. е. целостное объяснение всех накопленных сведений, позволяющее предсказывать явления и влиять на них, появилось только в середине первого тысячелетия до н. э. в Греции.

Общие знания и рассуждения об устройстве мира в Древней Элладе называли философией, что в переводе на русский язык означает «любовь к мудрости» или, как говорили в России до XIX в., «любомудрие». Считается, что впервые слово «философ» употребил древнегреческий мудрец и известный математик **Пифагор**, живший в конце VI – начале V в. до н. э. (рис. 3). Как пишет другой, более поздний греческий философ Диоген:

> *«Философию философией (любомудрием), а себя философом (любомудром) впервые стал называть Пифагор… мудрецом же, по его словам, может быть только Бог, а не человек. Ибо преждевременно было бы философию называть «мудростью», а упражняющегося в ней – «мудрецом», как если бы он изострил уже свой дух до предела; а философ [«любомудр»] – это просто тот, кто испытывает влечение к мудрости».*

Рис. 3. Пифагор

Ранние греческие философы всегда отдавали предпочтение рассуждениям перед фактами. Такая точка зрения проистекала из того, что ими руководила уверенность в том, что мир устроен абсолютно правильно и гармонично. Само слово «космос» означает порядок или красоту в противоположность необустроенному первобытному хаосу. Логические рассуждения, как и числа, всегда абсолютно строги, не подвержены случайным изменениям, а потому истинны. Факты же испытывают искажения из-за случайных вмешательств или ошибок в наблюдении. Поэтому, как рассказывают, философ Зенон с палкой набросился на другого философа, осмелившегося противопоставить формальной логике реальные факты. Вершиной этих философских представлений стало учение **Платона** (427–347 до н. э.), оказавшего, как мы впоследствии увидим, сильное влияние и на естествознание Нового времени (рис. 4). Платон считал, что существует вечный, неизменяющийся мир идей, который служит прообразом нашего реального материального мира, подверженного вечному изменению. Каждая вещь имеет свой идеальный вечный прообраз (эйдос), в соответствии с которым она строится. Наблюдения за явлениями реального земного мира

позволяют высказывать предположения о мире идей, познание которого через человеческую душу и является главной целью философии.

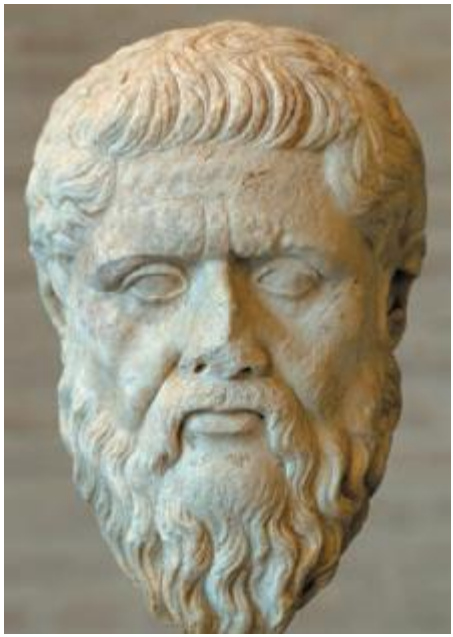


Рис. 4. Платон

Аристотель как основатель натурфилософии

Ученик Платона **Аристотель** (384–322 до н. э.) хотя и воспринял в значительной мере мысли своего учителя, но существенно их переосмыслил (рис. 5). Он перенёс основное внимание с небес на землю, т. е. попытался объяснить предметы и явления с позиций, доступных человеческому наблюдению. Именно его считают основателем *натурфилософии,* из которой с течением веков и развилась современная наука.

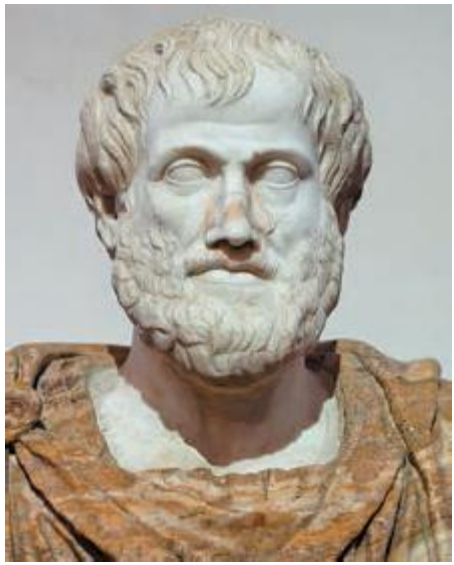


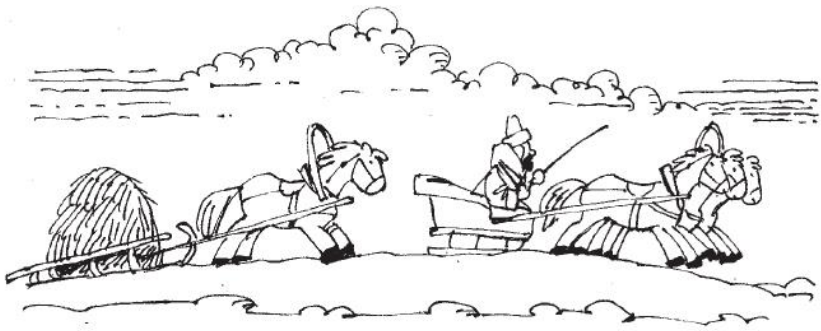
Рис. 5. Аристотель

К этому времени слово «философия» утратило буквальный смысл «любви к мудрости», а стало означать примерно то же, что оно означает и в наше время – знание, учение. Слово же «натурфилософия» включает корень, происходящий от латинского слова «натура», т. е. «природа», и означает философию природы, а название нашего предмета «естествознание» есть точный перевод на русский язык вышедшего из употребления слова «натурфилософия»[1].

Аристотель, конечно, не называл своё учение натурфилософией, поскольку не использовал латинский язык. Этот термин, вернее его первую часть, перевёл на латынь спустя несколько веков римский философ Сенека. В оригинале же Аристотель использовал слово «физика», что по-гречески тоже означает «знание о природе». В отличие от своих философских предшественников, в частности Пифагора и Платона, Аристотель в своей физике (или натурфилософии) обращает главное внимание не на управляющие Миром божественные принципы, а на наблюдения и эксперименты. Этот философ сам провёл множество таких наблюдений и экспериментов, исследуя всё: от падения предметов до внутреннего устройства растений и животных. В трудах Аристотеля содержатся сведения из области музыки, метеорологии; он высказывает правильные мысли о распространении звука в воздухе, делает попытку опытным путём определить вес воздуха, размышляет о распространении света и т. д.

Особое внимание Аристотель уделял движению, под которым

он понимал любое количественное и качественное изменение, т. е. толковал его шире, чем это принято в современной физике. Поэтому он утверждал, что в природе всё движется. Аристотель пытался разобраться в причинах движения, однако совершил при этом много ошибок, так как понятия точного эксперимента в его время ещё не существовало.



Так, заметив, что в природе есть тела, которые падают вниз, и тела, которые поднимаются вверх (например, дым или огонь), он делает заключение, что тяжёлые тела естественно стремятся к своему месту, находящемуся в центре Земли, а лёгкие стремятся вверх – к поверхности мировой сферы. Во всех случаях тела стремятся «к своему естественному месту». Аристотель, как и большинство его современников, считал, что все предметы состоят из смеси четырёх основных элементов (первоэлементов): земли, воды, воздуха и огня. Каждый из этих элементов в силу своей природы стремится занять своё место: ниже всего расположена тяжёлая земля, над ней вода, ещё выше – воздух, а выше всех находится огонь. Поэтому те предметы, которые содержат много земли, падают вниз, а те, в которых преобладает огонь, стремятся вверх.

Аристотель также предполагал, что скорость движения тела прямо пропорциональна действующей на него силе и обратно пропорциональна сопротивлению окружающей его среды. До открытия закона инерции это казалось очевидным: две лошади могут везти повозку быстрее, чем одна. Но каким же образом поддерживается движение брошенного предмета? И Аристотель придумывает замысловатую теорию, согласно которой брошенное тело непрерывно подталкивается воздухом, стремящимся занять своё место, освобождаемое летящим телом.

Таким образом, Аристотель не сумел разработать точных методов исследования и прибегнуть к той степени абстракции, которая характеризует современную науку. Поэтому его выводы

во многом были ошибочны, что, однако, не умаляет колоссальную роль учёного в истории естествознания.

Проверьте свои знания

1. Какие технические изобретения были сделаны во втором тысячелетии до н. э.?

2. Что в переводе на русский язык означает слово «философия»? Кто впервые использовал это понятие?

3. В чём заключаются отличия философии Аристотеля от философии Платона?

4. Каким термином Сенека заменил использовавшееся Аристотелем понятие «физика»?

Задания

Покажите, какие основания были у Аристотеля утверждать, что скорость движения предмета зависит от действующей на него силы. Для этого возьмите динамометр, прикрепите его к какому–либо предмету и, двигая его по шершавой поверхности, отмечайте зависимость между скоростью движения и показаниями динамометра.

§ 3 Наука и техника в поздней античности

Архимеду Гиерон приказал открыть закон —
Чтоб исследовать составы корон.
Ювелиры Сиракуз, к золоту имея вкус,
Из казны немалый груз увели.
Архимеду хоть бы хны – он поехал в Сандуны,
Снял рубашку, снял штаны, в ванну – плюх.
Архимед в воде лежал, и открытие искал,
И пузырики пускал в забытьи…
Тут случилась бы беда, но спасла его вода!
Не дала ему вода утонуть.
Осенило старика – заплясал он трепака
И из бани сиганул – эврика!

Из оперы «Архимед» физического факультета МГУ

Не вполне точные теоретические выводы, сделанные Аристотелем и его современниками, не помешали людям античного мира разработать основы точной механики и создать разнообразные технические приспособления. Большинство этих открытий и изобретений приходится на время, которое называют ***эллинистической эпохой.*** Завоевания Александра Македонского способствовали широкому распространению греческой культуры и философии на окружающие страны (Египет, Персия и др.), культура которых также оказывала влияние на греческое мировоззрение. Так возникло новое культурное течение – ***эллинизм.***

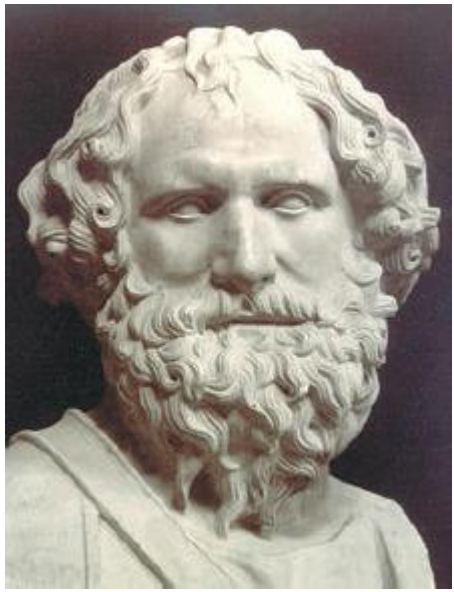


Рис. 6. Архимед

После смерти Александра в 323 г. до н. э. интеллектуальная столица переместилась из Афин в основанный этим завоевателем город Александрию Египетскую, где один из учеников Аристотеля создал научно-учебное заведение, называвшееся Александрийским музеем. Музей стал большим культурным центром, где учёные жили за государственный счёт и имели в своём распоряжении две огромные библиотеки, насчитывающие к 48 г. до н. э. около 700 тыс. томов. Музей не только собирал, но и издавал книги, чему способствовала естественная монополия Египта на производство папируса.

Архимед.

Такие исключительно благоприятные условия привлекали в Александрию учёных со всех концов света. Фактически вся физика эллинистического периода, а значит, и вся лучшая часть античного естествознания связана с Александрийским музеем. В частности, самый выдающийся физик и механик того времени **Архимед** (287–212 до н. э.) учился в Александрии и всю свою жизнь сохранял связи с музеем (рис. 6). Архимед не только обосновал многие правила механики, но и создал поразительные технические приспособления, которыми и через две тысячи лет не переставали восхищаться учёные. Среди его открытий наиболее известными являются правило рычага и то, что все и всегда называли законом Архимеда. Поговорим о них подробнее.

Рычаг как самое простое механическое приспособление известен всем. Он представляет собой стержень, который может вращаться вокруг точки опоры. Участки стержня по обе стороны от этой точки называются плечами. Если к короткому плечу приложить силу, например подвесить груз, то можно будет его легко поднять, нажимая на длинное плечо. Чем больше будет длинное плечо по отношению к короткому, тем меньшую силу надо затратить для подъёма груза одной и той же массы. Но насколько меньшую? Как эта сила зависит от отношения длины плеч?[2]. Об условиях равновесия рычага говорил ещё Аристотель, но у него это условие изложено весьма неясно. Архимед выводит его из постулатов, полученных в непосредственных опытах с рычагами, и один из его выводов гласит:

> *«Соизмеримые величины уравновешиваются, если длины, на которых они подвешены, находятся в обратном отношении к тяжестям».*

Из этого следует, что если длинное плечо будет достаточно большим, то, слегка надавливая на него, можно поднять груз любой массы. Поэтому Архимеду приписывают такое самоуверенное изречение:

> *«Дайте мне точку опоры, и я вам подыму весь мир».*

Что же касается собственно закона Архимеда, то он гласит:

> *«Тела, относительно более тяжёлые, чем жидкость, опускаются вниз до самого дна и становятся в жидкости настолько легче, сколько весит объём жидкости, равный объёму тела».*

По распространённой легенде, закон этот был открыт так. Царь поручил Архимеду выяснить, сделана ли его корона из чистого золота или к ней подмешано серебро. Архимед думал над этой задачей до тех пор, пока ему не помог случай. Принимая ванну, он заметил, что чем больше он погружается, тем больше воды выливается из ванны. Он понял, что это даст ему ключ к разгадке, выскочил из ванны и побежал по городу с криком: «Эврика, эврика!» («Нашёл, нашёл!»). После этого открытия он опустил в сосуд с водой золотой слиток той же массы, что и корона, а потом собрал и взвесил вылившуюся воду. Потом он повторил тот же опыт со слитком серебра той же массы и нашёл, что воды вылилось больше (потому что при одинаковой массе объём серебра больше, чем объём золота). Повторив опыт с короной вместо слитков, Архимед получил результат, лежащий где-то посередине между результатами опытов со слитками, из чего заключил, что корона сделана не из чистого золота.

Архимед также сделал около сорока искуснейших и полезных изобретений. Он создал винт (он так и называется – винт Архимеда), который мог поднимать воду на высоту до четырёх метров, позволяя орошать верхние участки местности и осушать низменные. Архимед сконструировал планетарий, который впоследствии был привезён в Рим в качестве военного трофея и вызвал восхищение у римского оратора и политического деятеля Цицерона. Во время осады римским войском Сиракуз – родного города Архимеда он непрерывно изобретал всё новые боевые машины, наводившие страх на осаждающих. По легенде, после взятия Сиракуз Архимеда убил какой-то грубый римский воин в тот момент, когда философ рисовал на песке геометрические фигуры.

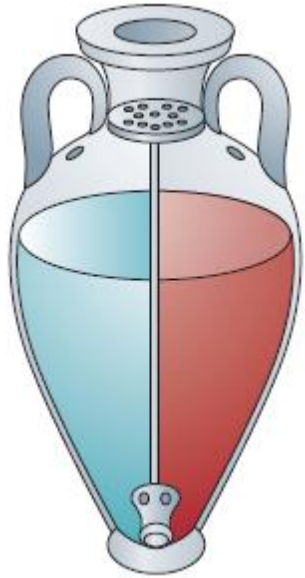


Рис. 7. Герон придумал конструкцию амфоры, «превращающей воду в вино и обратно». Одну половину такого сосуда наполняли вином, а другую – водой. Затем горлышко амфоры закрывали пробкой. В верхней части сосуда под выступающими ручками были просверлены два отверстия: одно – в «винной» части, а второе – в «водяной». Кубок подносился к кранику, расположенному внизу амфоры, жрец открывал его и наливал в кубок либо вино, либо воду, незаметно затыкая одно из отверстий пальцем

Герон Александрийский

Наверное, самым знаменитым изобретателем эллинистического мира является **Герон Александрийский** , хотя на самом деле про него мало что известно. Мы знаем, что он преподавал в Александрии, но не вполне ясно, в какое время (I в. до н. э. – I в. н. э.). Герон описал множество сложнейших приспособлений (рис. 7). Однако осталось неясным, какие из них изобрёл он сам, а какие заимствовал у предшественников. Среди них так называемый ***эолипил*** – приспособление, которое вращается под действием реактивной силы пара, вырывающегося из трубок (рис. 8), механические театры, в которых энергия сыплющегося песка или зерна с помощью системы отверстий и клапанов заставляет двигаться фигуры, изображающие сцены из жизни людей и богов, и многие другие. Поражает воображение описание устройства, благодаря которому двери храма

открывались после того, как на жертвеннике разводили огонь (рис. 9).

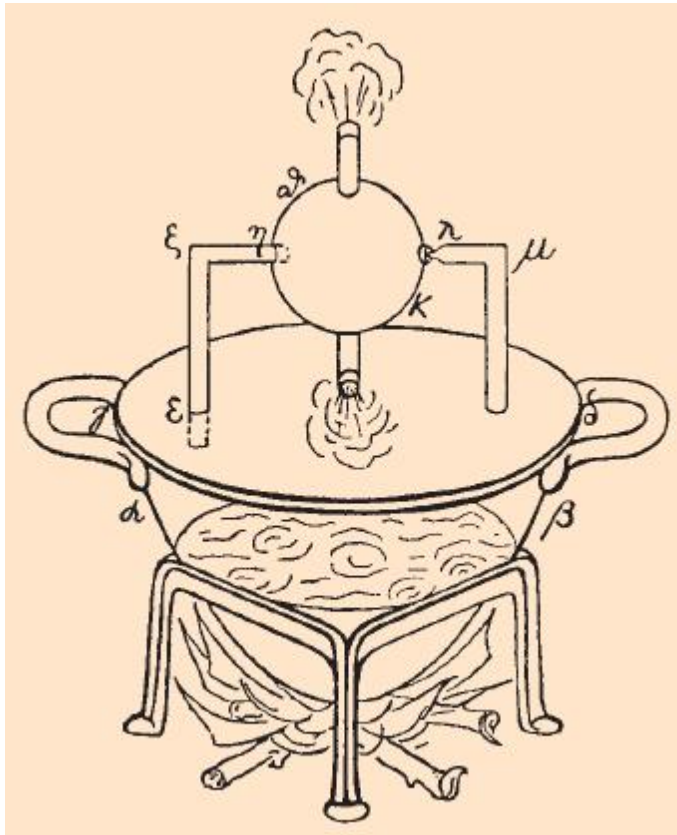


Рис. 8. Эолипил

Таким образом, греки уже владели достаточными научными и техническими знаниями для того, чтобы оказаться на пороге той технической революции, которая произошла спустя две тысячи лет. Революция задержалась из-за того, что в эллинистическом мире людей интересовало не столько практическое использование изобретений, сколько конструирование игрушек для развлечений во время праздников и создания магических эффектов на религиозных торжествах.

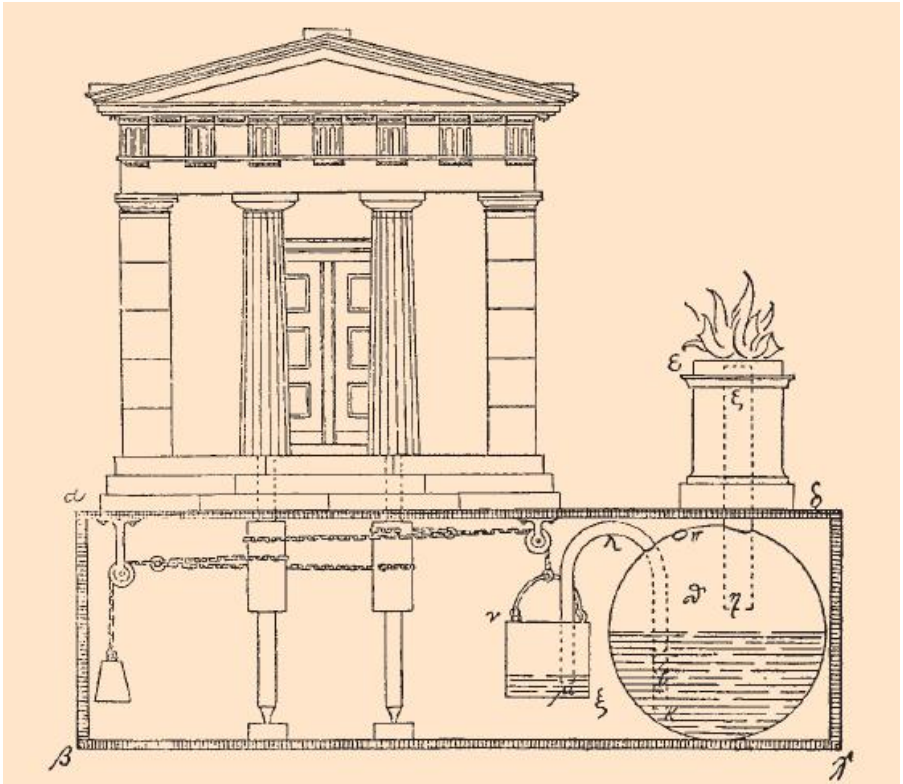


Рис. 9. Устройство для автоматического открывания дверей в храме

Возможно, это связано с тем, что изобретатели на местах не имели в то время достаточного количества сырья и энергии для осуществления своих замыслов в промышленных масштабах. Так или иначе в научно-техническом развитии наступила длительная пауза.

Проверьте свои знания

1. Когда и благодаря каким историческим событиям появился эллинизм?

2. Какое изобретение Архимеда было привезено в Рим в качестве военного трофея?

3. Сформулируйте закон Архимеда.

4. Почему в Древней Греции не произошло технической революции?

5. Вспомните устройства из нашей повседневной жизни, в основе действия которых лежит принцип рычага. В каких биологических объектах используется рычаг?

6. Подготовьте сообщения о других, помимо упомянутых в параграфе, интересных и полезных изобретениях Аристотеля.

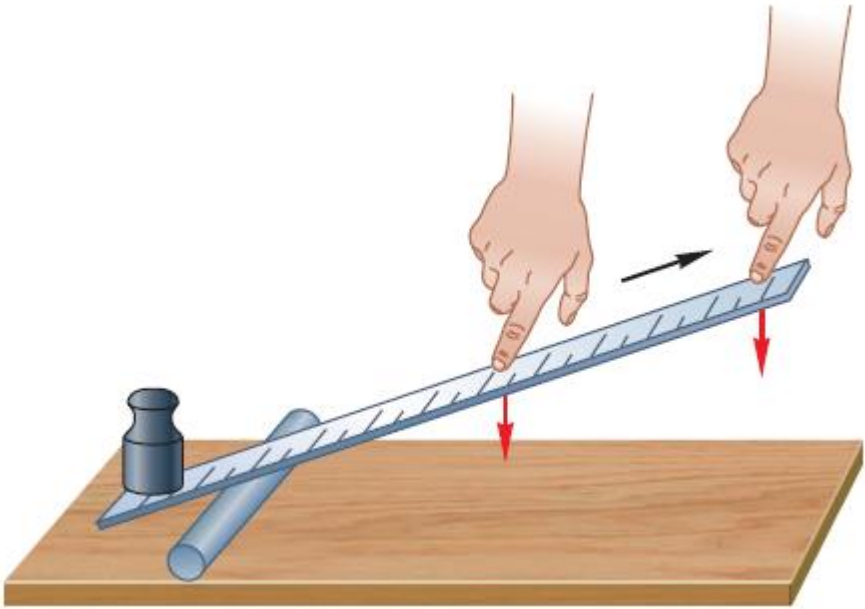


Рис. 10. Опыт с рычагом

Задания

Проведите опыты с рычагом. Для этого возьмите негнущуюся линейку и положите её на какую-нибудь точку опоры, например на авторучку (рис. 10). После этого поместите на один край линейки какой-либо груз. Нажимая пальцем на участки линейки, находящиеся на разных расстояниях от точки опоры, оцените усилие, которое вам потребуется для поднятия груза.

§ 4 От натурфилософии к науке

Сократ – друг, но самый близкий друг – истина.

Платон

Хотя Платон и истина мне дороги, однако священный долг велит отдать предпочтение истине.

Аристотель

Эпоха Средневековья.

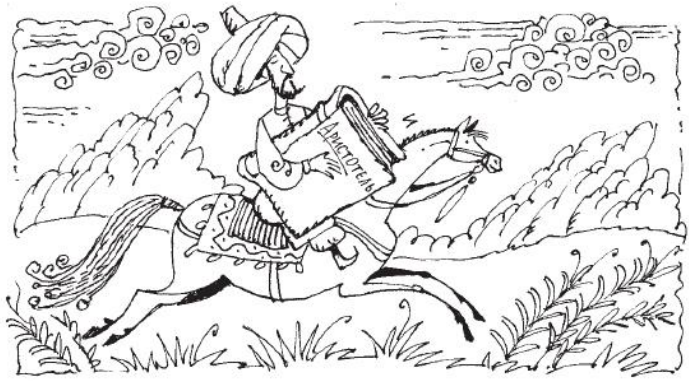
В период раннего Средневековья развитие естествознания практически остановилось. Хотя в практическом отношении эта эпоха сделала шаг вперёд по сравнению с Античностью. В это время стали широко использоваться железные орудия, были освоены новые культуры сельскохозяйственных растений и расширились территории посевов, разрабатывались новые конструкции мельниц и охотничьих орудий. Однако научные исследования в этот период практически никого не интересовали. Сознание человека раннего Средневековья было религиозно-мистическим, определяемым отчасти христианством, отчасти патриархальной мистикой. По сохранившимся источникам видно, что средневековый человек часто не очень отчётливо понимал, в каком мире он, собственно говоря, находится. Его наполняли переживания, связанные с всевозможными видениями, откровениями, ощущениями наказаний за грехи и т. д. Человеческая личность не могла играть в этом мире сколько-нибудь самостоятельную роль. Поведение человека обосновывалось ссылками на сверхъестественные силы, которые могли по своей воле в любой момент нарушить ход естественных событий.

Высшей из этих сил считался Бог.

Рис. 11. Абу Али Хусейн ибн Абдаллах ибн Сина (Авиценна)

Достижения античной науки в средневековой Европе практически не были известны, а культура Древнего мира категорически отвергалась как языческая и, следовательно, греховная. В это время традиции античных авторов нашли своё продолжение в странах Передней и Средней Азии. Расцвет арабской науки пришёлся на X–XII вв. Одним из наиболее знаменитых учёных этого времени был Ибн Сина, получивший известность в Европе как Авиценна (980—1037) (рис. 11). Ибн Сина внёс огромный вклад в медицину, занимался философией (развивал идеи Аристотеля) и музыкой. Выдающимися арабскими учёными того же периода были Аль-Бируни, с высокой точностью определивший плотность веществ и объяснивший действие артезианских колодцев на основе принципа сообщающихся сосудов, его современник Аль– Хайтан (Альхазен), внёсший большой вклад в развитие оптики, а также Аль-Хазини, написавший в начале XII в. «Книгу о весах мудрости», представляющую собой полный курс средневековой физики.

Военные и экономические контакты с арабской культурой открыли для европейцев философию и науку как новую сферу познания. В XI в. в Болонье (Италия) и в Париже появляются первые университеты, служащие для распространения и расширения знаний.



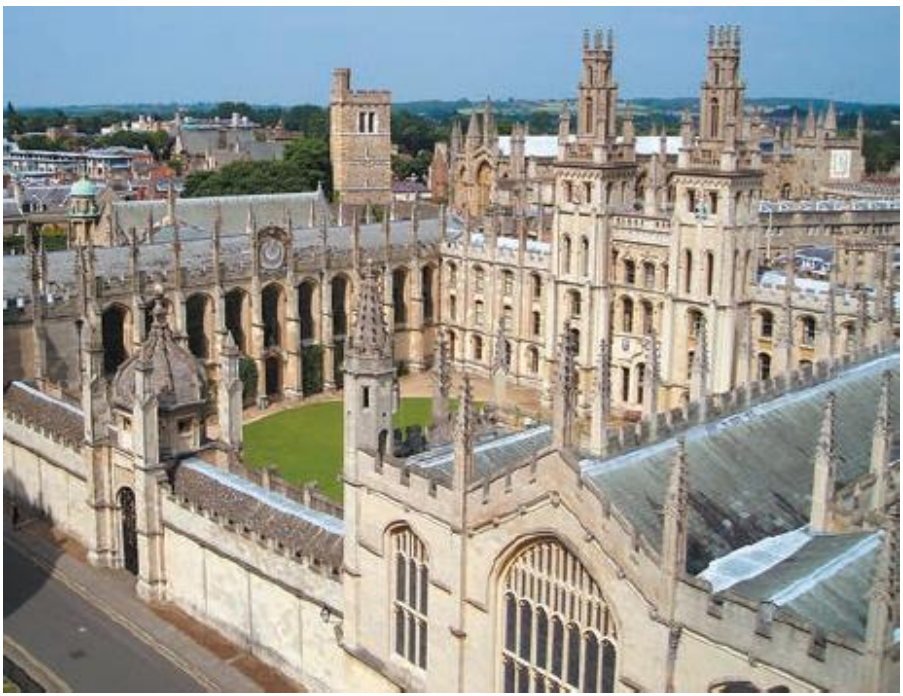


Рис. 12. Оксфордский университет

В XIII в. были основаны знаменитые Оксфордский (рис. 12) и Кембриджский (рис. 13) университеты в Англии и многие другие учебные заведения. В это же время были переведены труды Аристотеля и других философов и механиков Греции. Физика Аристотеля была официально одобрена христианской церковью, получила признание её выдающихся мыслителей и долгое время пользовалась в европейских странах непререкаемым авторитетом.

Рис. 13. Кембриджский университет

Отчасти по причине этого чрезмерного, абсолютно не критического прославления мудрости Аристотеля, отчасти из-за того, что европейское общество не одобряло самостоятельное мышление человека, особых достижений в области естествознания долгое время не было. Науку этой эпохи называют ***схоластикой*** (от греческого слова, означающего «школьный»).

В этой науке никакая мысль не может быть принята, если она не подкреплена ссылками на общепризнанные церковные или философские авторитеты.

Эпоха Возрождения

Решающий перелом как в мышлении европейского человека в целом, так и в появлении принципиально новой науки и основанной на ней техники произошёл в XV в. с наступлением эпохи Возрождения.

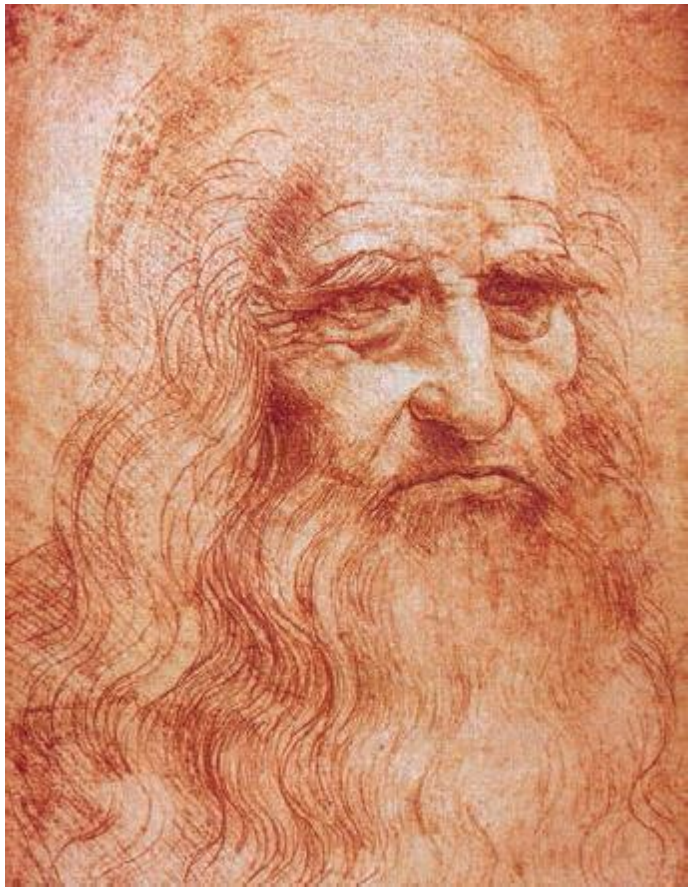


Рис. 14. Леонардо да Винчи

Первым универсальным гением Возрождения был **Леонардо да Винчи** (1452–1519), «человек без книжного образования», чьё художественное и техническое творчество не было подавлено господством официально признанных авторитетов (рис. 14). Он писал по поводу схоластов:

> *«Хотя я и не умею так, как они, цитировать авторов, я буду цитировать гораздо более достойную вещь – опыт, наставника из наставников. Они ходят напыщенные и чванные, разряженные и разукрашенные, и не своими, а чужими трудами, а мне в моих собственных трудах отказывают, и если они меня, изобретателя, презирают, то насколько больше следует порицать их самих – не изобретателей, а лишь трубадуров и пересказчиков чужих трудов».*

Будучи величайшим художником, Леонардо тем не менее

считал себя в большей мере «изобретателем», т. е. в современном понимании – инженером. Его называют величайшим из инженеров, которых знала история. Назовём только некоторые, наиболее известные, его изобретения. Он разработал всевозможные виды механических преобразователей движения (например, цепную передачу, до сих пор используемую в велосипедах, и применяемый сейчас в автомобилях карданный вал), подшипники, многочисленные станки для обработки металла и для текстильного производства, боевые машины для ведения войны («жесточайшего помешательства», как он её называл), различные замысловатые музыкальные инструменты. Леонардо долго и внимательно изучал механику полёта птиц и в результате пришёл к идее парашюта:

> *«Если человек имеет шатёр из полотна шириной 12 локтей и 12 локтей в высоту, то он может прыгать с любой большой высоты без вреда для себя»*, а также самолёта и вертолёта (последний в его трудах описан как *«винтовой аппарат, который, если его вращать с большой скоростью, ввинчивается в воздух и поднимается вверх»)* (рис. 15).

К сожалению, многие из замыслов гениального мыслителя раннего Возрождения не могли быть в то время реализованы из-за отсутствия источников необходимой энергии.

Помимо изобретения всевозможных полезных приспособлений, в круг интересов Леонардо входили и чисто научные вопросы, связанные главным образом с проблемами механики, где его можно считать предшественником Галилея и Ньютона, о которых мы будем подробно говорить в дальнейшем. Он пробовал прояснить и определить понятие силы и задолго до Ньютона догадывался о законе равенства действия и противодействия:

> *«Что касается движения воды, то же производит движение весла против неподвижной воды, что и движение воды против неподвижного весла».*

Леонардо также много сделал для создания ***экспериментального метода,*** который скоро стал основой всего научного знания. Как вы узнаете из этой главы, современная наука строится на эксперименте с последующей математической обработкой его результатов. Об этом и говорил Леонардо. *«Знание – дочь опыта»,* – утверждал он, поэтому *«нужно ограничивать рассуждение опытом»*, а не распространять его за пределы опыта.

Но опыт сам по себе – только сырой материал, требуется ещё включить его в общее понимание мира. Так возникла идея необходимости использования в науке математических вычислений.

Идеи Леонардо можно встретить в трудах многочисленных учёных, живших сразу после него. Неизвестно, были ли они заимствованы у величайшего гения Возрождения или, как это часто бывает, «носились в воздухе», но в XVI в. уже вполне оформилось то мировоззрение, которое легло в основу современных естественных наук. Духовной предпосылкой этого мировоззрения явился полный пересмотр в период Возрождения роли человека в природе и обществе. Вместо убеждения в том, что человеком управляют сверхъестественные силы, поведение которых невозможно предсказать, стало укрепляться твёрдое мнение, что человеческая личность является центром мироздания, способным самостоятельно, без помощи церковных и философских авторитетов, познавать мир и даже управлять им. Но ведь «сколько голов, столько и умов», и если каждый имеет право на своё личное мнение, то как же создать истинную картину Мира, свободную от индивидуальных ошибок и неточностей, допускаемых отдельными наблюдателями? Для этого нужно разработать строгие методы исследований и доказательств, т. е. жёсткие правила, по которым требуется получать знания о природе. Всё, что добыто в соответствии с этими правилами, следует считать истиной, а знания, полученные другими способами, не следует принимать во внимание.

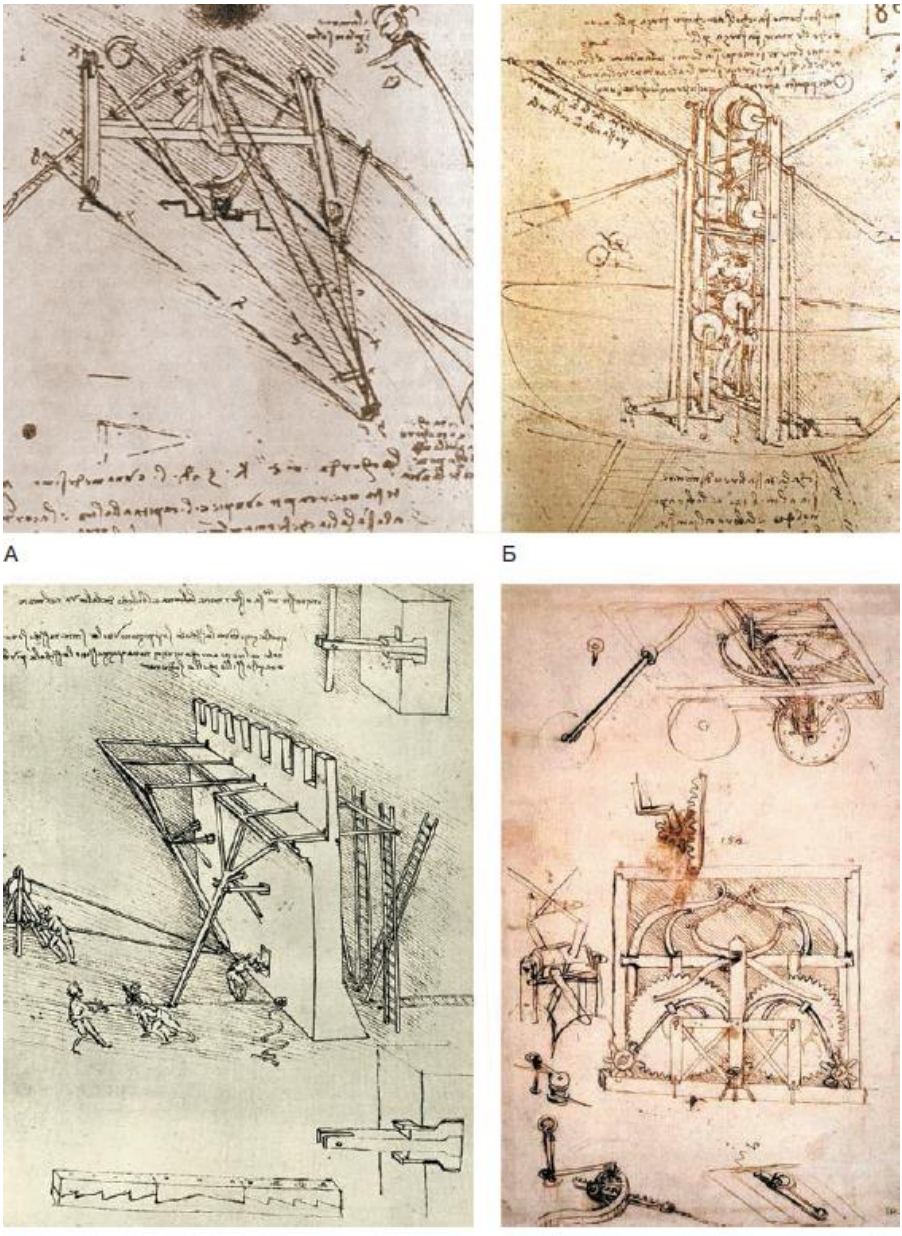


Рис. 15. Проекты Леонардо: А – самолет; Б – аэроплан; В – система рычагов; Г – машина

Возможно, при этом что-то ускользнёт от нашего внимания, но зато за полученные таким способом результаты можно будет ручаться. Так получил распространение научный метод, а вместе с ним родилась современная наука.

Проверьте свои знания

1. Что характеризовало сознание человека Средневековья?

2. Когда и с помощью кого средневековая Европа познакомилась с трудами античных философов?

3. В чём состоят основные заслуги Леонардо да Винчи?

4. Как изменился подход к научным исследованиям после эпохи Возрождения?

Задания

Воспроизведите опыты Леонардо да Винчи.

1. Возьмите лист бумаги, прикрепите к его углам грузик и наблюдайте за скоростью его падения. Затем повторите тот же опыт с половинкой и четвертушкой листа. Не забудьте проколоть в листах дырочки.

2. Поставьте на возвышение сосуд с водой и подведите к нему жёлоб таким образом, чтобы вода по нему стекала медленно. Опустите в поток воды деревянную лопатку и оцените силу, которая вам потребуется для того, чтобы удерживать её на месте. Теперь погрузите лопатку в жёлоб с неподвижной водой и гребите им, как это делают при катании на лодке. Постарайтесь гнать воду с той же скоростью, с которой она текла по жёлобу до этого, и сравните затрачиваемые в том и другом случае силы.

§ 5 Рождение науки

Аристотель научил меня удовлетворять свой разум только тем, в чём убеждают меня рассуждения, а не только авторитет учителя…

Г. Галилей

Отсюда станет понятным на бесчисленных примерах, сколь полезна математика в заключениях, касающихся того, что предлагает нам природа, и насколько невозможна настоящая философия без помощи геометрии, в соответствии с истиной, провозглашённой Платоном.

Г. Галилей

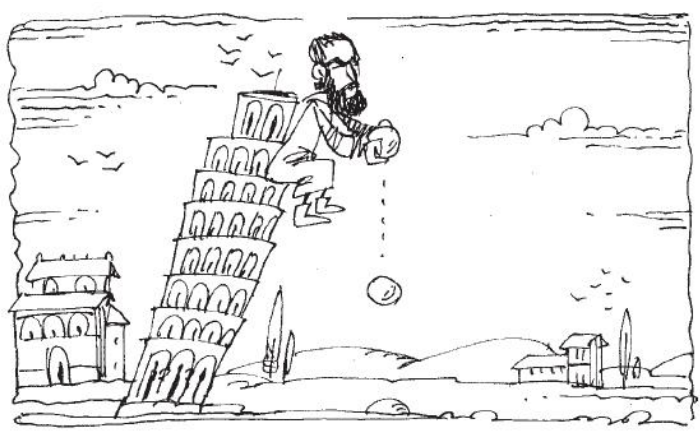
Работы Галилео Галилея

На протяжении XVI в. закладывался фундамент здания современной науки, превратившегося потом в поражающий своим величием небоскрёб. К этому приложили усилия многочисленные мыслители, жившие преимущественно в Италии, так как именно из этой страны стали проникать в Европу идеи Возрождения. Там же, в итальянском городе Пизе, родился и долгое время работал великий учёный, про которого можно сказать, что именно он завершил закладку фундамента и начал возводить само здание науки. Этим человеком был **Галилео Галилей** (1564–1642) (рис. 16). В юные годы Галилей изучал медицину, однако затем увлёкся наблюдениями за движущимися предметами. Движение – вот что в первую очередь интересовало основателя физики. Как мы знаем, движение почти за две тысячи лет до того изучал и Аристотель, но Галилей пришёл к совершенно противоположным выводам.

Рис. 16. Галилео Галилей

По поводу ранних исследований Галилея ходит много легенд, большинство из которых нельзя достоверно подтвердить. Говорят, что ещё в ранней молодости он бросал различные предметы с наклонной Пизанской башни, определяя время их падения путём подсчёта ударов своего пульса, и таким образом заметил, что ускорение не зависит от массы предметов (рис. 17). Это был серьёзный удар по представлениям Аристотеля, принимавшимся в то время за абсолютную истину.

Рис. 17. Пизанская башня известна во всём мире. Она достигает в высоту 55 м, а надпись на ней свидетельствует о том, что она заложена в 1174 г. В 1564 г. в Пизе родился Галилео Галилей, будущий знаменитый учёный



Вспомним утверждение Аристотеля о том, что каждое тело стремится к своему месту, зависящему от соотношения входящих в это тело элементов. Опровергая это учение, Галилей замечал, что если тела будут двигаться не в воздухе, а в воде, то, например, дерево, которое считают тяжёлым, становится лёгким, потому что движется вверх. Галилей также показал, что если бы не существовало сопротивления воздуха, то все предметы падали бы с одинаковым ускорением. Собственно говоря, об этом обстоятельстве догадывались и раньше – понятно, что парашют, изобретённый Леонардо да Винчи, не уменьшает массы человека, но замедляет его падение, – но Галилей впервые высказал это положение в виде строгого принципа.

Вообще выводы Галилея часто противоречили повседневному человеческому опыту, например это касается принципа инерции. Аристотель утверждал, и это казалось всем очевидным, что скорость движения тела зависит от приложенной к нему силы. Галилей же доказывает, что движение будет происходить с постоянной скоростью, если на него не действует никакая сила. Интересно, что к этому выводу Галилей пришёл с помощью рассуждений, напоминающих доказательство от противного в математике: поскольку наклон плоскости, по которой движется тело, ускоряет его движение вниз и замедляет движение вверх, то при отсутствии этого наклона, т. е. на горизонтальной плоскости, скорость движения вообще не должна меняться.

Ясно, что закон инерции противоречит всем реально наблюдаемым явлениям, – все знают, что всякий движущийся предмет, если его не подталкивать, довольно скоро остановится. И Галилей разрешает это противоречие с помощью того же аргумента, который он использовал для объяснения падения предметов: закон соблюдался бы в точности, если бы не существовало сопротивления среды. В том, что среда имеет отношение к замедлению движения, легко убедиться. Для этого надо подтолкнуть один и тот же предмет с одной и той же силой сначала по стеклу, а потом по мягкой ткани и убедиться в том, что во втором случае он остановится гораздо быстрее. Но всё-таки что значит «если бы…»? Ведь на самом деле не может быть так, чтобы сопротивление среды (трение, как мы его теперь называем) вообще отсутствовало. И здесь мы сталкиваемся с одним из основополагающих принципов науки – абстракцией, или абстрагированием.

Абстракция и идеализация.

Абстракцией называют мысленное выделение в каждом явлении наиболее значимых его свойств и отвлечение (абстрагирование) от тех, которые кажутся несущественными. Без абстракции невозможно никакое научное исследование, ведь в природе не бывает двух абсолютно одинаковых объектов. Нельзя изучать законы движения, если учитывать все выпуклости и зазубрины на каждом камне. Нельзя делать заключений в биологии или психологии, если учитывать тот факт, что каждое животное и тем более человек имеет свои индивидуальные особенности. Поэтому приходится абстрагироваться от многого из того, что мы наблюдаем. Высшую степень абстрагирования называют ***идеализацией.*** В процессе исследования реально существующих предметов создаются образы мысленных объектов, которые не только не существуют, но и не могут реально существовать в природе. Такими идеализированными объектами являются, например, материальная точка, идеальный газ, геометрические фигуры и тела. Создание таких объектов является началом процесса моделирования, о котором мы будем говорить в дальнейшем, когда вместо реальных объектов используются их идеальные модели.

Может показаться, что метод абстракции и идеализации отдаляет исследование от реальности и ведёт к изучению явлений, не существующих в природе. Но вся история науки показывает, что именно правильное использование абстракции позволило открыть самые объективные явления и привело к абсолютно реальным техническим достижениям. Именно пренебрежение формой, а часто и размерами предметов, силой трения и многими другими факторами позволило Галилею, Ньютону и их последователям разработать точную механику, а впоследствии и другие разделы естествознания.

Высшей степенью абстракции Галилей считал математику, так как только она может выразить явления в идеальном виде, освобождённом от случайных погрешностей. Ни один циркуль не способен изобразить абсолютно правильную окружность, но выражение *«окружность есть геометрическое место точек, равноудалённых от точки, называемой центром»* и соответствующее ему уравнение характеризуют её абсолютно точно. Только с помощью математики, как полагал Галилей, можно нарисовать правильную картину Мира. Он считает, что книга природы

> *«написана на языке математики, её буквами служат треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без помощи которых человеку невозможно понять*

её речь; без них – напрасное блуждание в тёмном лабиринте».

Со времени Галилея в научный обиход вошли понятия абстрагирования, эксперимента, измерения и математической обработки результатов. В следующих параграфах мы рассмотрим, в чём состоит их суть.

Проверьте свои знания

1. Что утверждает открытый Галилеем закон инерции?

2. От чего абстрагировался Галилей, формулируя закон инерции?

3. С помощью каких экспериментов Галилей доказал, что, если на тело не действует сила, оно будет двигаться с постоянной скоростью?

Задания

1. Подготовьте доклад о жизни и научной деятельности Галилео Галилея.

2. Приведите примеры абстрагирования в различных науках.

3. Если у вас в школе имеется достаточно большой сосуд и насос, позволяющий откачивать воздух из этого сосуда, поместите в сосуд предметы различной формы и массы, а затем откачайте из него воздух (рис. 18). После этого переверните сосуд и убедитесь в том, что все предметы падают одновременно.

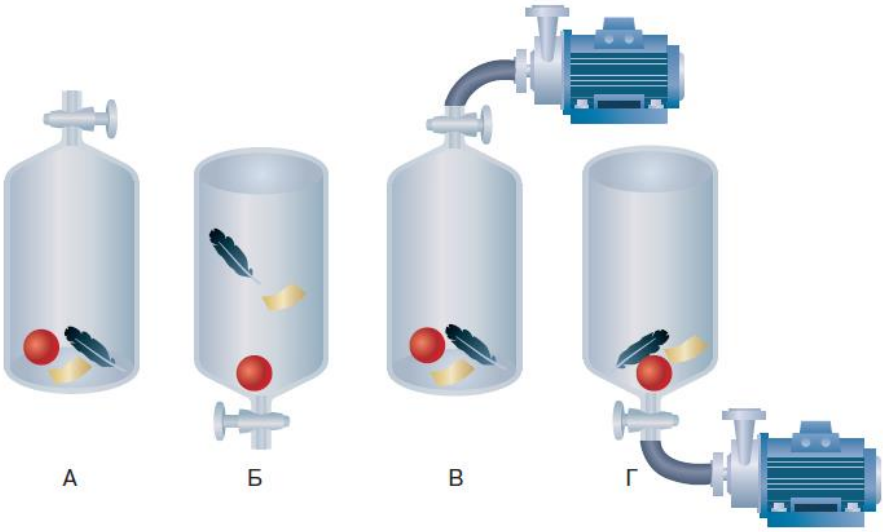


Рис. 18. Опыт с сосудом, на дне которого лежат тяжёлый шарик, кусок картона и перо: А – сосуд с воздухом; Б – при переворачивании сосуда все предметы падают по-разному и достигают дна сосуда в разное время; В – из сосуда откачали воздух; Г – при переворачивании все предметы одновременно оказываются на дне сосуда

§ 6 Наблюдение и эксперимент

О вы, счастливые науки!
Прилежны простирайте руки
И взор до самых дальних мест.
Пройдите землю, и пучину, и степи, и глубокий лес…
…Везде исследуйте всечасно,
Что есть велико и прекрасно,
Чего ещё не видел свет.

М. Ломоносов

Познание окружающего мира начинается с собирания фактов, добытых эмпирическим (от греч. empeiria – опыт) путём. Эмпирические данные могут быть получены в результате наблюдения, эксперимента и измерения. Самым простым из эмпирических методов, лежащим в основе остальных, является наблюдение. Измерение и эксперимент обязательно включают в себя наблюдение, но само наблюдение может и не сопровождаться двумя другими методами.

Наблюдение.

Научным ***наблюдением*** называется восприятие предметов и явлений с целью их изучения (рис. 19). Поскольку главной особенностью естественных наук является их объективность, то требуется, чтобы результаты наблюдений, сделанных одним или несколькими людьми, могли быть воспроизведены другими. Следовательно, требуется сообщить о своих наблюдениях таким образом, чтобы каждый смог в соответствующих условиях повторить их и получить те же результаты. Поэтому в сообщении о наблюдении требуется обязательно указать:

• объект, т. е. какой предмет или явление наблюдали;

• субъект, т. е. кто наблюдал (с учётом особенностей его физического или психологического состояния);

• средства наблюдения, т. е. описание приборов или инструментов, если они использовались;

Рис.19.Наблюдение – один из самых древних научных методов

• условия наблюдения (какая в месте наблюдения была температура, освещённость, уровень шума, характеристика местности и т. д.);

• систему знания, в которой задают цель наблюдения и объясняют его результаты.

Если при соблюдении этих требований схожие результаты будут получены несколькими наблюдателями, они могут рассматриваться как имеющие значение для науки.

Наблюдения могут быть *непосредственными* и *косвенными.* Если, например, мы наблюдаем невооружённым глазом звёздное небо или падение камня с возвышенного места, то это будет непосредственное наблюдение. А вот элементарные частицы непосредственно наблюдать невозможно. Мы можем судить о них, только наблюдая те изменения, которые они производят в измерительных приборах. Однако между этими видами наблюдения нет резкой границы: как, например, оценить наблюдение, сделанное с помощью бинокля? Наблюдение представляет собой один из важных видов научной практики, но полученным с его помощью результатам не всегда можно безоговорочно доверять. Наблюдатель не всегда может учитывать все условия, при которых обнаруживается наблюдаемое явление, может не принимать во внимание случайные факторы, собственное вмешательство в ход наблюдаемого процесса и т. п. Поэтому более строгим научным методом, с помощью которого добываются основные естественно-научные знания, является эксперимент.

Эксперимент

Эксперимент представляет собой исследование, проводимое по определённым правилам, принятым среди естествоиспытателей. Несоблюдение этих правил обычно приводит к тому, что полученные данные вызывают недоверие и не принимаются научным сообществом всерьёз. В этом случае говорят, что методы, использованные экспериментатором, являются некорректными, а сам эксперимент обладает недостаточной чистотой. Рассмотрим, в чём заключаются основные правила эксперимента.

Сущность эксперимента обычно состоит в том, что изучается изменение какого-либо показателя, свойства или признака под влиянием некоторого фактора. Для того чтобы выяснить роль этого фактора, исследование обычно проводят на двух группах исследуемых объектов, которые различаются только по этому фактору. Группа, где изучаемый фактор отсутствует, называется ***контрольной,*** а та, где он присутствует, – ***экспериментальной.*** Можно образовать несколько групп, различающихся по величине изучаемого воздействия. Допустим, исследуется влияние лекарственного средства на скорость размножения определённого вида микроорганизмов. Для этого можно взять несколько сосудов с питательной средой и поместить в каждый строго определённое количество микроорганизмов (рис. 20). Очень важно, чтобы эти сосуды не различались ни по каким признакам, кроме изучаемого: их объём, состав и количество питательного раствора, температура, при которой будет происходить размножение, и все прочие условия должны быть абсолютно одинаковы.

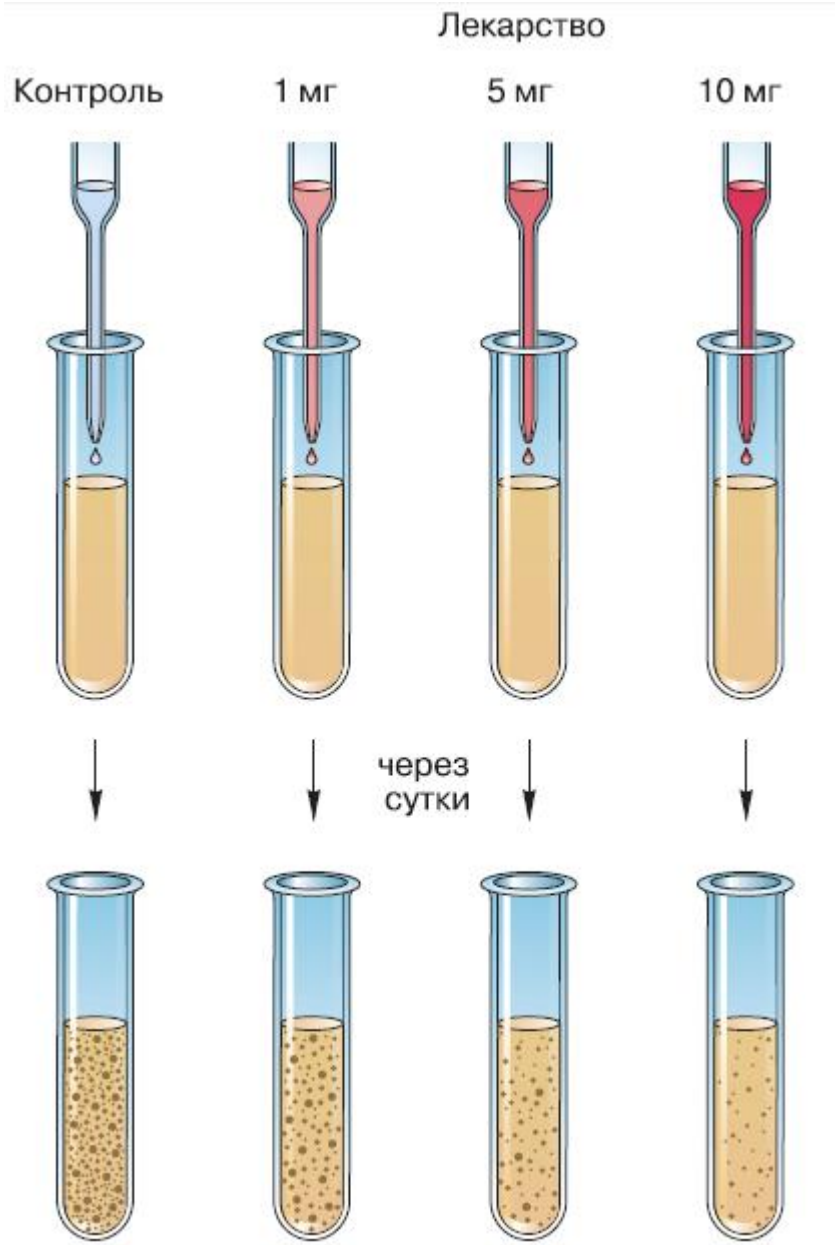


Рис. 20. Изучение влияния лекарственного препарата на скорость размножения определённого вида микроорганизмов

Единственное различие будет состоять в присутствии лекарственного средства. Один сосуд, тот, в котором это средство отсутствует, будем называть контрольным. В другие сосуды, экспериментальные, будем добавлять изучаемое средство в различных дозах, предположим, 1, 5 и 10 миллиграммов. По

прошествии строго определённого времени, одного и того же для всех сосудов, будем брать пробы из каждого сосуда и подсчитывать определённым способом количество микроорганизмов. Если это количество окажется разным в различных сосудах, например их будет тем меньше, чем больше концентрация нашего средства, то можно будет сделать вывод о влиянии этого средства на скорость развития данного вида микробов.

Однако для уверенного утверждения о таком влиянии одного такого эксперимента будет недостаточно. Обязательным требованием к научному эксперименту является его *воспроизводимость*. Если при многократном повторении одного и того же эксперимента в абсолютно одинаковых условиях всегда будут получаться одинаковые результаты, то этим результатам можно будет доверять. Тогда можно быть уверенным в том, что в эксперимент не вкралась какая-либо не учтённая исследователем случайность. В этом случае исследователь имеет право сообщить о своих результатах в научной статье или на конференции.

Но для того чтобы полученные данные стали признанным научным фактом, и этого недостаточно. Так же как и при проведении наблюдений, требуется, чтобы результаты эксперимента были подтверждены другими независимыми экспериментаторами. Ведь всегда можно допустить возможность того, что первооткрыватель пусть бессознательно, но допустил какие-либо ошибки или неточности. Поэтому, публикуя результаты своих исследований, автор должен точно соблюдать те правила, о которых говорилось выше, т. е. указать условия, в которых проводились его эксперименты. После этого его коллеги смогут воспроизвести описанные опыты. В том случае, если результаты у всех окажутся одинаковыми, данные опыты могут считаться общепризнанным установленным научными фактами.

В результате принятия экспериментального метода в естественных науках, в отличие от многих гуманитарных наук, невозможны принципиально различные точки зрения на природу одних и тех же явлений. Ведь в случае расхождения мнений всегда можно провести совместный эксперимент и выяснить, какое именно мнение является правильным. Высказывать различные суждения и выдвигать новые гипотезы можно лишь по поводу тех явлений, сущность которых пока ещё не проверена достаточно точными экспериментами.

Проверьте свои знания

1. Что обязательно указывают в сообщении о наблюдении?

2. Чем отличается эксперимент от наблюдения?

3. Что означает требование к воспроизводимости эксперимента?

4. Какие группы исследуемых объектов требуется образовать для проведения эксперимента?

5. Какое значение для развития науки имеют строгие правила проведения эксперимента?

Задания

1. На уроке химии сравнивали растворимость соли в воде. Для этого насыпали какое-то количество этой соли в колбу и заливали определённым количеством воды. Через 10 минут воду сливали и измеряли количество нерастворившегося осадка. Один из учеников взял для растворения воду из холодильника, а другой – с подоконника, находящегося на солнечной стороне класса. Полученные результаты оказались различными. Каковы возможные причины этих различий?

2. В другой раз оба ученика взяли воду из холодильника. Но один из них каждую минуту перемешивал раствор, а другой отвлёкся, забыл про колбу и вспомнил о ней, только когда зазвенел таймер. Результаты опять получились различными. Каковы возможные причины этих различий?

3. Школьный психолог проводил с учениками 7 класса систему тренинга для решения нестандартных задач. Контрольная группа, где такой тренинг не проводился, была составлена из учащихся 10 класса. Результаты решения задач получились одинаковыми в обеих группах. Следует ли из этого, что разработанный тренинг неэффективен? Обоснуйте свой вывод.

4. Рассмотрите рисунок 19 и определите, что в данном примере является объектом; субъектом; средствами; условиями наблюдения.

§ 7 Измерение

Несколько способов измерения высоты башни с помощью барометра.

1. Закрепить барометр на вершине башни. Послать кого-нибудь наверх снять показания с барометра. Высота башни рассчитывается исходя из скорости передвижения посланного человека и времени его отсутствия.

2. Положить башню на землю. Перекатывать барометр от вершины к основанию, считая число оборотов. (Способ имени 38 попугаев.)

3. Закопать башню в землю. Вынуть башню. Полученную яму заполнить барометрами. Зная диаметр башни и количество барометров, приходящееся на единицу объёма, рассчитать высоту башни.

Студенческая шутка

Измерением называют представления свойств реальных объектов в виде числовой величины, т. е. установление соотношения между свойствами объекта и каким-либо числом. До появления точного измерения количественные свойства предметов выражали с помощью качественных и сравнительных понятий – «большой, тяжёлый, тёплый», или – «меньше, легче, холоднее». После того как люди освоили абстрактные числа (см. § 1), они стали приписывать этим понятиям (размерам, весу, а позже и температуре) точные числовые значения. Они стали говорить не просто «этот камень тяжёлый, он тяжелее второго», «эта ель высокая, она выше той берёзы», а какое *число* соответствует тяжести этого камня или высоте дерева и *насколько* оно больше числа, характеризующего тяжесть другого камня или высоту другого дерева.

Единицы измерения.

Для того чтобы что-то точно измерять и сравнивать затем полученные числа, требуется установить единицу измерения, чтобы затем принять в качестве меры количество этих единиц.

Рис. 21.Пядь

Рис. 22. Длина ступни как единица измерения использовалась в большинстве древних культур. Например, в Шумере стандартом этой меры была длина ступни статуи правителя Гудеа Лагашского (XXII в. до н. э.)

Основное правило измерения заключается в том, чтобы представить характеристику измеряемого объекта в виде произведения единицы измерения на какое-то число (целое, дробное или даже иррациональное). Если $\boldsymbol{A}$ обозначает степень измеряемого свойства, $\boldsymbol{B}$ – единицу измерения, а $\boldsymbol{k}$ – числовое значение измеряемой величины, то результат измерения выражается таким образом: $\boldsymbol{A = kB}$.

На протяжении всей своей истории человечество занималось выбором единиц измерения. В первую очередь людей интересовали протяжённость объектов в пространстве (длина, площадь, объём) и вес предметов. Наиболее распространёнными мерами длины были части человеческого тела, такие как *пядь* – расстояние между концами растянутых большого и указательного

пальцев руки (рис. 21), *локоть* – расстояние от конца пальцев до локтевого сустава (очень удобный способ измерения длины ткани), *фут* (по-английски – ступня), *дюйм,* равный ширине большого пальца взрослого мужчины (рис. 22). В России распространённой мерой длины была *сажень,* также определяемая расстояниями между различными точками человеческого тела[3] (рис. 23). Сажень равнялась приблизительно 2,14 м и делилась на три аршина, а аршин, в свою очередь, – на 16 вершков.

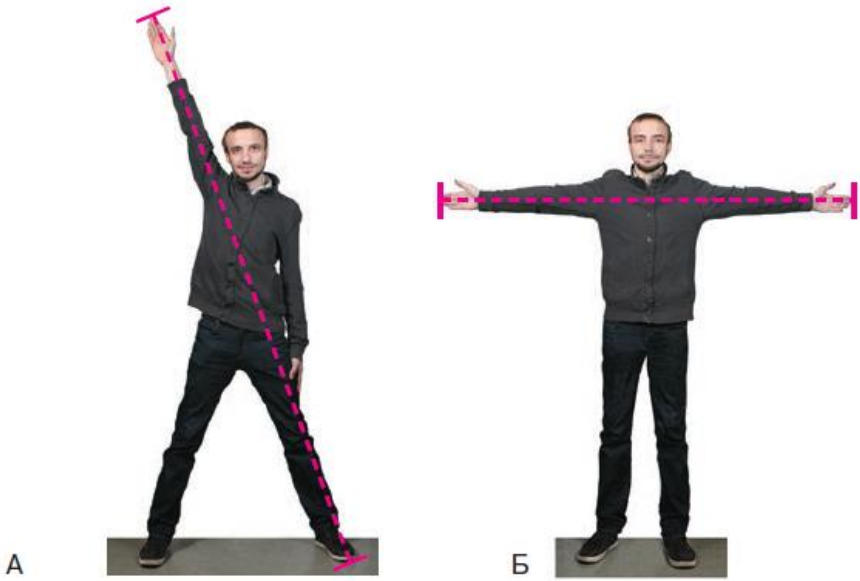


Рис. 23. Сажень: А – косая; Б – прямая

Но, как всем известно, части тела у различных людей могут сильно различаться. Поэтому очень скоро была осознана необходимость введения эталонов, более или менее постоянных величин, соответствующих данным мерам. Обычно эталон устанавливался властями, а копии с него широко распространялись и служили для практических нужд[4].

Для измерения веса или, как мы бы сказали теперь, массы использовали различного рода весы, которые первоначально основывались на принципе работы рычага (рис. 24).

Рис. 24. На этой росписи древнеегипетской гробницы (XIV в. до н. э.), найденной в Фивах, изображён процесс взвешивания золотых колец. Египтяне использовали весы и гири для определения стоимости драгоценных металлов

Рис. 25. В Бирме все разновесы делали в виде животных: слонов, уток, буйволов и львов, как эта бронзовая гирька (А). Каменная египетская гирька предназначалась для взвешивания золота (Б)

Если плечи рычага сделать равными, то массу взвешиваемого

груза можно определить подвешивая к другому плечу набор эталонных масс (гирь) (рис. 25). Если же сделать их неравными, то эту массу можно узнать по тому, на какое расстояние надо отодвинуть взвешиваемый груз для того, чтобы рычаг оказался в равновесии. Такие весы называются безменом по названию одной из старых русских мер веса. Впоследствии появились пружинные весы, действие которых основано на том факте, что длина растягиваемой пружины в определённых пределах пропорциональна действующей на эту пружину силе.

В качестве основной меры веса в России использовался *пуд,* что буквально означало «вес» или «тяжесть». В современных метрических единицах пуд равен 16,38 килограмма. Пуд состоял из 40 фунтов, каждый из которых весил, следовательно, около 400 г.

С середины XIX в. в мире стала распространяться десятичная система мер, которая в настоящее время принята практически во всех странах (кроме США, Либерии и Мьянмы). В этой системе первоначально были приняты две основные единицы для измерения фундаментальных характеристик окружающего мира – расстояния и веса (массы). В качестве первой был принят *метр,* длина которого определялась как сорокамиллионная часть меридиана, проходящего через Париж (рис. 26, 27). В качестве второй меры – массы был принят *килограмм,* равный массе одного литра чистой воды при температуре 4 °C и нормальном атмосферном давлении. Ввиду того что эти величины не могут быть измерены с большой точностью, в качестве мировых эталонов стали использовать определённые предметы (эталонный метр и эталонный килограмм), хранящиеся в специальных помещениях при постоянных условиях.

В настоящее время в науке и технике принята система измерений ***СИ.*** В этой системе используются следующие основные единицы:

масса – килограмм (кг, kg);
расстояние – метр (м, m);
время – секунда (с, s);
электрический ток – ампер (А, A);
температура – кельвин (К, K);
сила света – кандела (кд, cd);
количество вещества – моль (моль, mol).

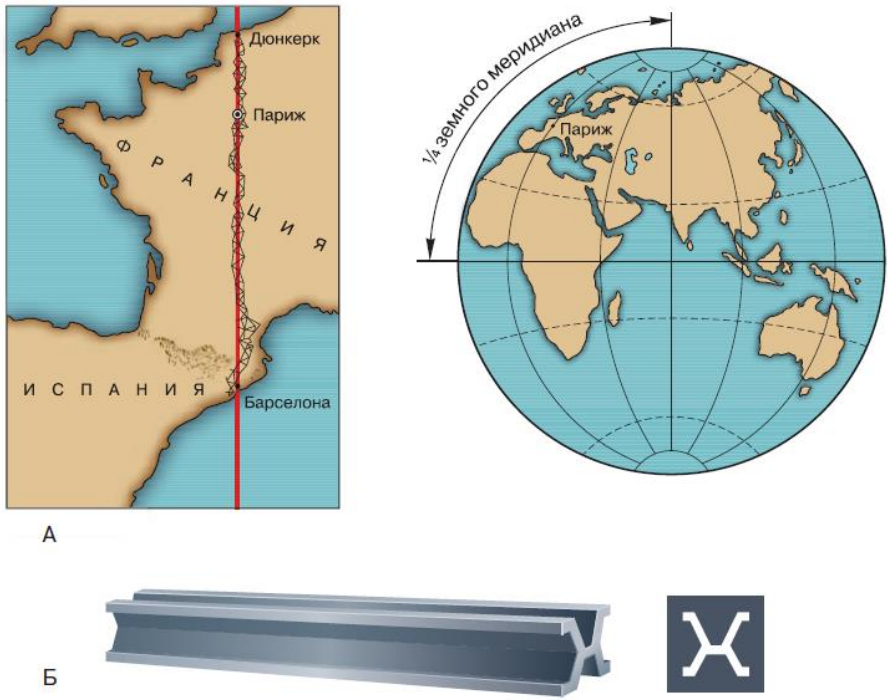


Рис. 26. В десятичной системе мер, которая стала распространяться в мире начиная с середины XIX в., для измерения расстояния был принят метр, длина которого определялась как сорокамиллионная часть меридиана, проходящего через Париж: А – Парижский меридиан; Б – международный эталон метра, использовавшийся с 1889 по 1960 г.

Рис. 27. Один из публичных эталонов метра, установленных на улицах Парижа в 1795–1796 гг.

Таблица 1

Приставки

Кратные приставки		Дольные приставки	
десять (10)	дека-	десятая (10^{-1})	деци-
сто (10^{2})	гекто-	сотая (10^{-2})	санти-
тысяча (10^{3})	кило-	тысячная (10^{-3})	милли-
миллион (10^{6})	мега-	миллионная (10^{-6})	микро-
миллиард (10^{9})	гига-	миллиардная (10^{-9})	нано-
тысяча миллиардов (10^{12})	тера-	тысячная миллиардной (10^{-12})	пико-

Остальные единицы, называемые дополнительными, могут быть получены либо различными комбинациями основных, либо умножением их на десятичные числа. Представление какой-либо величины с помощью комбинации основных единиц называется ***размерностью*** этой величины. Так, например, скорость будет иметь размерность расстояния, делённого на время (м/с или м $с^{-1}$), энергия – размерность массы, умноженной на квадрат расстояния и делённой на квадрат времени (г • $м^2$ • $с^{-2}$), электрический заряд – размерность тока, умноженного на время (А • с) и т. д.

Обозначить величины, большие или меньшие основных, можно с помощью приставок, указывающих, на какое число надо умножить или разделить основную единицу (табл. 1).

Существуют приставки для обозначения ещё больших и ещё меньших единиц.

Помимо единиц, входящих в СИ, применяют единицы, называемые неметрическими, например минута, час, тонна (правильное название – мегаграмм), градус Цельсия (°С) и т. д.

Измерения в гуманитарных науках.

Существуют исследования, в которых невозможно провести точные измерения изучаемых величин. Особенно часто это случается в гуманитарных науках, например в социологии или психологии. В этом случае числа, необходимые для дальнейшей обработки данных, получают косвенным путём. Можно классифицировать какие-либо свойства, отнести их, как уже говорилось выше, к определённой категории, а затем посчитать число объектов, попавших в каждую из категорий. Можно задать

школьникам вопрос, где они предпочитают проводить летние каникулы: *а) дома; б) на море; в) в туристическом походе; г) в гостях у друзей и родственников; д) в спортивном лагере,* а затем подсчитать долю учащихся, предпочитающих то или иное времяпрепровождение. Мы получим данные, выраженные в шкале, называемой ***шкалой наименований.*** Часто используют также ***порядковую шкалу,*** где выраженность измеряемого признака оценивается в понятиях «больше – меньше» или «сильнее – слабее». Например, изучается отношение телезрителей к двум телепрограммам. В этом случае можно попросить оценить каждую программу по такому критерию: 1 балл – «никогда не смотрю»; 2 – «смотрю редко»; 3 – «время от времени смотрю»; 4 – «смотрю часто»; 5 баллов – «смотрю всегда». Затем можно просуммировать полученные баллы и сравнить популярность программ.

Полученные в эксперименте или наблюдении числовые данные в дальнейшем используют для математической обработки.

Проверьте свои знания

1. Как выражается степень измеряемого свойства?

2. В каких единицах СИ измеряется расстояние, время, масса, температура и электрический ток?

3. Что означают приставки: кило-, микро-, нано– и гига-?

4. Что такое порядковая шкала; шкала наименований?

Задания

1. Используя содержащиеся в параграфе данные, определите длину вершка в сантиметрах.

2. Измерьте ширину вашей парты в пядях, локтях, дюймах.

3. Используя нитку и линейку, сконструируйте безмен и попытайтесь сравнить на нём вес различных предметов.

4. Человек пообедал, съев 350 г борща и 300 г солянки. Сколько килограммов борща и тонн солянки он съел?

§ 8 Представление экспериментальных данных и математическая обработка

Если на графике данные не соответствуют начальной гипотезе, то делайте линии жирнее.

Дж. Милс

Представление экспериментальных данных в виде таблицы

Полученные в эксперименте данные требуется обработать и привести в какую-то систему.

Таблица 2

Количество бактерий в пробе через 2 ч после начала опыта (млн клеток)

Номер опыта	Доза препарата, мг			
	0 (контроль)	1	5	10
1	24	18	12	8
2	32	22	16	10
3	29	14	11	7
4	28	20	15	8
5	30	25	20	12
Сумма	133	99	74	45
Среднее значение	28,6	19,8	14,8	9,0

Экспериментатор должен сначала сам разобраться в том, что у него получилось, а затем представить результаты своим коллегам в краткой и доступной форме. С этой целью все полученные данные заносятся в таблицу, которая официально называется ***матрицей данных.*** В качестве примера запишем в таблицу результаты нашего эксперимента о влиянии лекарственного препарата на скорость размножения бактерий (табл. 2).

Таблица (матрица) состоит из горизонтальных ***строк*** и вертикальных ***столбцов.*** В нашей таблице в строки заносится количество обнаруженных в пробе, например в 1 мм^3 среды, клеток возбудителя в каждом из пяти проведённых экспериментов. Столбцы же соответствуют количеству

помещённого в сосуд препарата. Для того чтобы определить влияние определённого препарата на бактерии, сложим результаты, полученные во всех аналогичных опытах, и разделим получившуюся сумму на число опытов (пять). Мы получим средние арифметические значения количества бактерий для каждого количества препарата. Теперь, сравнивая эти значения, мы видим, что наши микроорганизмы размножаются тем медленнее, чем большее количество вещества добавлено в сосуд. На этом основании можно сделать предварительный вывод о том, что исследуемый препарат уменьшает скорость размножения бактерий в зависимости от его концентрации. Но это только предварительный вывод. Для того чтобы его подтвердить, требуется математическая обработка.

Математическая обработка.

Смысл математической обработки заключается в следующем. Надо убедиться в том, что полученные различия не случайны. Дело в том, что результаты отдельных экспериментов, даже сделанных в абсолютно одинаковых условиях, могут немного различаться между собой. Это связано с погрешностью измерений и чисто случайными факторами, которые всегда присутствуют в природе. Посмотрим на данные, полученные в контрольной группе. Мы видим, что количество микробов в различных экспериментах неодинаково: оно колеблется от 24 до 32 млн, хотя условия во всех пяти сосудах ничем не различались. Нам надо выяснить, не случайны ли различия как между контрольной и экспериментальными группами, так и между разными экспериментальными группами. Для этого существуют методы ***математической статистики.*** Эта наука представляет собой раздел математики, изучающий закономерности в количественных результатах наблюдений и экспериментов. В частности, с её помощью можно решить вопрос о том, насколько велика вероятность того, что полученные различия вызваны чисто случайными причинами. Если она окажется малой, то можно будет считать, что наше воздействие действительно влияет на изучаемое явление. В таком случае говорят, что это влияние является ***достоверным.*** В противном случае оно считается недостоверным и не может приниматься в расчёт в научном исследовании. Часто, для того чтобы убедиться в достоверности полученных результатов, приходится ставить очень много экспериментов, так как математическая статистика работает тем точнее, чем с большим количеством материала она имеет дело.

Представление экспериментальных данных в виде графика.

Итак, полученные в исследовании данные можно представить в виде таблиц. Однако использование специальных рисунков – диаграмм значительно облегчает восприятие результатов исследования. Диаграммы наглядно изображают зависимость между различными величинами. Одним из видов диаграмм являются диаграммы-линии, или графики. Построим график, иллюстрирующий данные нашего эксперимента (рис. 28, А).

Нам надо представить зависимость между концентрацией изучаемого вещества и количеством бактерий в 1 $мм^3$ питательного раствора. Эти величины называются переменными. Концентрацию вещества мы считаем ***независимой переменной,*** так как можем задавать и изменять её по собственному усмотрению. Количество же бактерий считается ***зависимой переменной***, поскольку она непосредственно зависит от первой величины и у нас нет других возможностей на неё повлиять. В математике эти величины называются соответственно ***аргументом и функцией***. Таким образом, на графике будет изображена ***функциональная зависимость*** количества бактерий от количества введённого в среду препарата.

На *оси абсцисс* отложим значения количества введённого препарата, а на ***оси ординат*** – среднее по всем опытам количество бактерий, обнаруженное во взятой пробе. От каждой точки на обеих осях проведём перпендикулярные прямые. Точка их пересечения и будет показывать, какое количество бактерий соответствует данному количеству добавленного препарата.

В результате мы получили четыре точки, соответствующие 0; 1; 5 и 10 мг препарата. Далее мы можем рассуждать так. В эксперименте мы не использовали промежуточные количества вещества, например 0,7; или 8 мг.

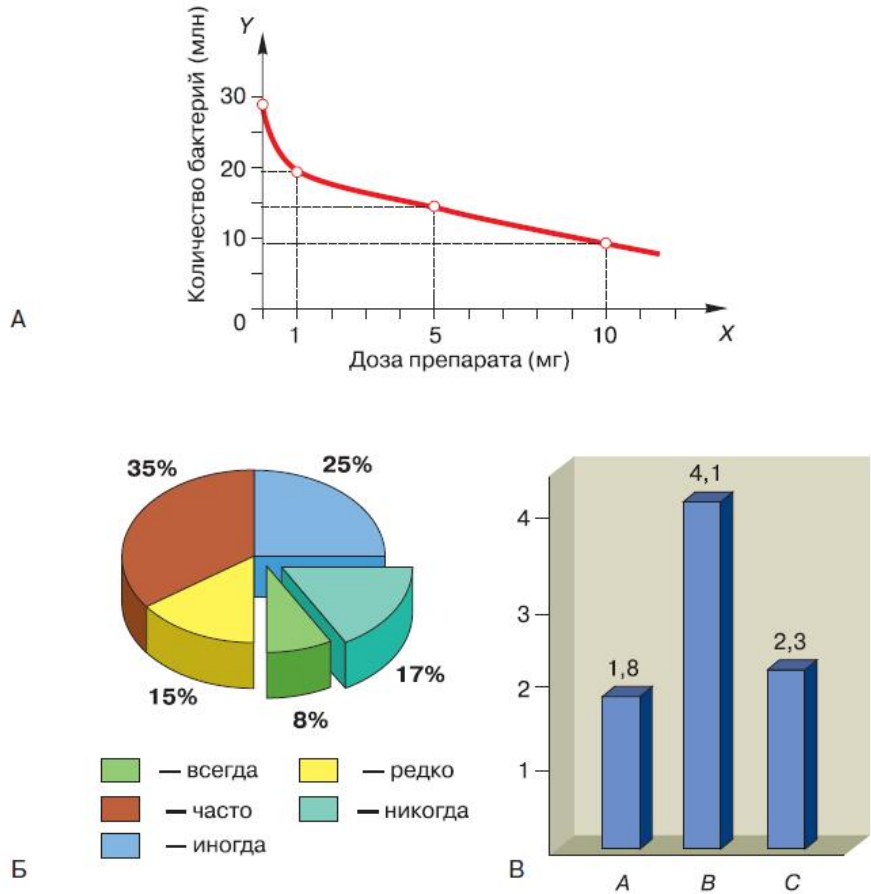


Рис. 28. Примеры непрерывного графика (А), круговой (Б) и столбчатой (В) диаграммы

А какое количество бактерий мы бы обнаружили в этих случаях? Логично предположить, что это значение, например, для 7 мг находилось бы где-то между 14,8 млн и 9 млн. Мы имеем право считать, что между концентрацией вещества и количеством микроорганизмов существует ***непрерывная зависимость.*** Эта зависимость изображается на графике плавной кривой, соединяющей проставленные точки.

Часто на графиках в качестве независимой переменной выступает время. В этом случае график показывает, как изменяется какой-то показатель с течением времени, т. е. ***динамику развития*** этого показателя. Предположим, что мы определяли количество бактерий в нашем опыте не только через два часа после начала эксперимента, но также в самом его начале, через час и через три часа, и получили следующие данные (в среднем по всем экспериментам) (табл. 3).

Таблица 3

Динамика изменений количества бактерий

Время, ч / Доза препарата, мг	0	1	2	3
0	35	95	133	155
1	40	80	99	110
5	37	67	74	75
10	38	43	45	46

В этом случае мы можем построить график, где по оси ординат будет отложено время, прошедшее после добавления препарата, а по оси абсцисс – количество бактерий, обнаруженное в данное время при данной дозе вещества. Полученные точки надо соединить четырьмя кривыми, каждая из которых покажет динамику размножения бактерий при определённой концентрации препарата.

Однако не во всех случаях можно соединять точки плавными линиями, так как зависимость между переменными не всегда представляет собой непрерывную функцию. Например, если мы оценивали популярность телепрограмм и оказалось, что программа А в среднем была оценена на 1,8 балла, программа Б – на 4,1 балла, а программа В – на 2,3 балла, то плавной линии проводить нельзя, так как каждая программа существует сама по себе и переходов между ними нет. В этом случае используют *столбчатую диаграмму,* или гистограмму (рис. 28, Б). Существуют и другие виды диаграмм: круговые, сетчатые, диаграммы-области и пр. (рис. 28, В). Исследователь должен в каждом случае определять, какой вид диаграммы ему лучше использовать для демонстрации своих результатов.

Проверьте свои знания

1. Что означает выражение «полученные данные недостоверны»?

2. Что называется зависимой и независимой переменными? Какая из этих переменных обычно откладывается по оси абсцисс, а какая – по оси ординат?

3. В каком случае данные на графиках изображаются плавными кривыми, а в каких – столбчатыми диаграммами?

4. С помощью какого вида диаграмм удобнее всего отразить состав атмосферного воздуха; динамику изменения численности хищников и жертв в природном сообществе; процентное соотношение людей разных возрастных групп, живущих в городе?

Задания

1. Начертите матрицу. Пусть её строки означают школьные предметы, а столбцы – месяцы или четверти учебного года. В пересечения строк и столбцов занесите полученные оценки. Что означают средние величины, вычисленные по столбцам, а что – средние величины, вычисленные по строкам? Постройте графики, отражающие динамику вашей успеваемости.

2. Разработайте анкету социального опроса об отношении к природе. Проведите опрос. Проанализируйте полученные данные и представьте их в виде информационного блока на сайте школы или в стенгазете.

§ 9 Математическое моделирование

Если мы действительно что-то знаем, то мы знаем это благодаря изучению математики.

П. Гассенди

Метод моделирования.

В процессе изучения окружающего мира и создания всевозможных механизмов и приспособлений человек всегда использовал метод моделирования. Суть этого метода заключается в том, чтобы заменить изучаемый или конструируемый объект его подобием, более или менее соответствующим оригиналу. Сначала понятие модели относили только к материальным объектам, например манекен мог служить моделью человеческого тела. Существовали также уменьшенные модели для самолётов, плотин и т. п. В дальнейшем понятие «модель» получило более широкое толкование. В настоящее время ***моделью*** называют некий материальный предмет или абстрактное понятие, которые содержат главные особенности изучаемого объекта или явления. В частности, любая научная гипотеза или теория является моделью протекающих в природе процессов. Особенное значение приобретают математические модели

Современное естествознание не может обойтись без математики. Мы уже говорили о том, что фактический создатель

современной науки Галилей писал, что книга природы написана на языке математики и о том, что почти всегда каждый научный эксперимент должен сопровождаться измерением. Работа Ньютона, с которой фактически началась вся современная физика, называлась «Математические начала натуральной философии». Немецкий философ Иммануил Кант писал, что в каждой науке содержится столько истины, сколько в ней математики. Именно то обстоятельство, что природные закономерности можно достаточно точно описать посредством математических формул, даёт возможность во многих случаях предсказывать ход физических процессов с помощью вычислений, не прибегая к трудоёмким, дорогостоящим, а часто и опасным экспериментам.

Используя основные законы механики с помощью относительно простых вычислений, можно рассчитывать траектории и время перемещения различных тел и силы, которые необходимо затратить для приведения их в движение, определять нагрузки, которые сможет выдержать мост или плотина. Знание уравнений электродинамики и закона сохранения энергии позволяет сконструировать электрические двигатели и генераторы таким образом, чтобы они выполняли требуемую от них работу и при этом не возгорались. Более того, вычисления, хотя и значительно более сложные, часто позволяют обнаружить те явления, которые невозможно непосредственно наблюдать. Классический пример – открытие в середине XIX в. планеты Нептун. Астрономы, ведя регулярные наблюдения за небом, Нептун «проглядели», а обнаружен он был благодаря вычислениям, сделанным на основании расчёта орбит других планет.

По мере развития математики, с появлением и совершенствованием вычислительных машин и компьютеров вычисления становились всё сложнее, а область сделанных на их основе предсказаний всё шире. Тогда и появилось понятие математического моделирования.

Математическое моделирование.

Математической моделью называют совокупность математических выражений, которые описывают основные характеристики и процессы, присущие исследуемой системе. Для того чтобы создать модель, надо выразить всё, что мы считаем существенным в изучаемом объекте, в виде математических выражений, затем ввести, также в математическом виде,

начальные условия, т. е. характеристики состояния, с которого начинается расчёт, и задать алгоритм вычислений.

Слово «алгоритм» очень старое и происходит от имени аль–Хорезми, учёного, написавшего в IX в. сочинение, в котором разрабатывались правила некоторых математических вычислений. В современном понимании ***алгоритм*** – это совокупность операций и правил последовательных вычислений, которые в конечном счёте должны привести к определённому результату. Понятие алгоритма стало особенно широко применяться после изобретения вычислительных машин. Ведь, по существу, любая программа вычислений представляет собой алгоритм. Вот, например, простой алгоритм, который может быть выражен в виде компьютерной программы:

> *«Взять два числа – x и y, перемножить их, затем прибавить к произведению тройку и извлечь из получившейся суммы квадратный корень. Если значение корня окажется целым числом, выдать ответ, что введённые числа составляют пару для данной операции».*

Такой алгоритм можно легко вычислить в уме. Нетрудно сообразить, что соответствующие этому условию пары составляют, например, числа 1 и 6; 2 и 3; 2 и 11 и бесконечное количество других.

Создание модели обычно включает определённые этапы. Вначале происходит словесное, качественное, «нематематическое» описание объекта или явления, которое предполагается моделировать. Затем это описание формулируется на языке математических формул. Это самый сложный этап построения модели. После этого создаются алгоритмы, по которым будут сделаны расчёты, затем производятся вычисления, а после полученные математические результаты интерпретируются, т. е. снова «переводятся» на обычный язык для того, чтобы понять, что именно получилось в результате работы математической модели. Если полученные результаты согласуются с реальностью, модель принимается за основу, а затем производится её доработка: в программу вводятся какие-то детали, не учтённые на первом этапе работы, или, наоборот, производятся некоторые упрощения, которые облегчают работу, но существенно не влияют на конечный результат.

Разумеется, модель всегда является упрощённым подобием реального объекта, так как какие-то детали всегда можно упустить из внимания или нарочно пренебречь для того, чтобы моделирование не оказалось чрезмерно сложным. Однако если

основные особенности учтены и алгоритмы подобраны правильно, моделирование часто даёт поразительно точные результаты, позволяющие предсказывать ход природных процессов и рассчитывать работу сложных технических устройств. Бывает даже так, что в процессе моделирования выявляются результаты, неожиданные для её создателей, но абсолютно точно согласующиеся с реальностью.

В современном мире математическое моделирование находит широчайшее применение практически во всех областях человеческой деятельности – в электронной и космической технике, ядерной физике, экономике, социологии, экологии и сельском хозяйстве.

Модель «хищник – жертва»

Рассмотрим широко известную в экологии модель, описывающую изменение численности двух видов, обитающих на данной территории: жертвы и хищника. Допустим, в определённой местности живут зайцы и лисы. Будем считать, что пища для зайцев имеется в избытке и поэтому они могут быстро размножаться в геометрической прогрессии. Следовательно, чем больше зайцев живёт в этом году, тем больше их родится в следующем. Так бы они и размножались бесконечно, если бы поблизости не обитали лисицы.

Эти хищники питаются зайцами и значительно сокращают их численность. Поэтому мы можем записать: *зайцы* + *лисы* → *меньше зайцев.*

Однако если зайцев окажется слишком мало, лисам станет нечего есть и они начнут вымирать от голода. Поэтому мы можем также написать другое уравнение: *лисы – зайцы* → *меньше лис.*

Попробуем решить систему этих уравнений, не прибегая к математическим вычислениям. Это будет называться качественным решением. Предположим, что в начальный момент у нас имеется некоторое число лис и достаточное число зайцев, чтобы лисы не ограничивали себя в питании. В этих условиях хищники начнут быстро размножаться и, когда их станет достаточно много, они станут съедать столько зайцев, что численность жертв начнёт убывать. Но по мере того как зайцев будет становиться всё меньше, лисам станет не хватать еды и они начнут вымирать от недостатка питания. Когда же их станет совсем мало, зайцы, оказавшиеся в относительной безопасности, снова начнут усиленно размножаться. Затем этот цикл повторится, и мы получим график, изображённый на рисунке

(рис. 29). Он представляет собой две сдвинутые относительно друг друга колебательные линии, похожие на синусоиды.

Такая модель позволяет в известных пределах прогнозировать изменение численности обитающих на данной территории животных. Конечно, она, как любая модель, не свободна от упрощения и идеализации. Может, например, выдаться засушливое лето, и тогда наше предположение, что пища у зайцев всегда имеется в избытке, окажется неверным. В лес могут приехать охотники и сократить численность лис гораздо значительнее, чем это предполагает модель. В таком случае, если модель даёт неточные результаты, её, как было сказано, дорабатывают: вводят дополнительные факторы или исправляют алгоритмы. Любая модель, особенно в таких системах, где присутствует много случайных факторов, всегда должна быть динамичной и развивающейся.

Заканчивая разговор о математических моделях, обратим внимание ещё на одно интересное обстоятельство. Часто математические модели, разработанные для одного класса явлений, оказываются применимыми в совершенно другой области.

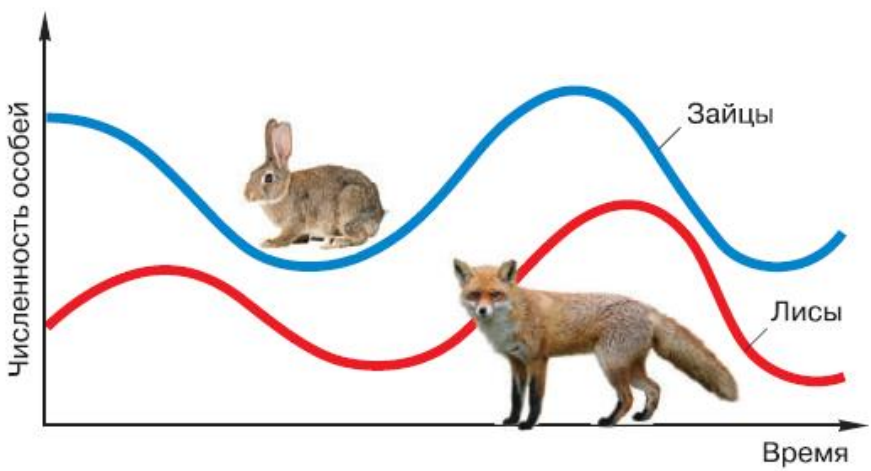


Рис. 29. Колебания численности популяций лисиц и зайцев

Те же математические уравнения, с помощью которых описывается взаимоотношение «хищник – жертва», с успехом используются при расчёте некоторых химических реакций. Это говорит об общности законов природы и присутствии в ней единых закономерностей.

Проверьте свои знания

1. Что называют моделью природного явления?

2. Перечислите этапы создания математической модели.

3. Что означает слово «алгоритм»? Приведите примеры алгоритмов, встречающихся в вашей повседневной жизни.

Задания

1. Нарисуйте график, где по оси абсцисс отложите число лисиц, а по оси ординат – число зайцев, обитающих в данном месте в данное время. Нарисуйте замкнутую кривую линию, которая будет характеризовать отношение этих чисел.

2. Возьмите два разных натуральных числа x и y, умножьте каждое на 2, произведения сложите и извлеките из суммы квадратный корень. Если корень окажется целым числом, значит x и y составляют полную пару. Найдите несколько пар, удовлетворяющих этому условию.

3. Подготовьте сообщение о применении математического моделирования в какой-либо области человеческой деятельности: электрической или космической технике, ядерной физике, экологии, сельском хозяйстве и т. д.

4. Напишите реферат на тему «Моделирование как основа научного метода познания».

§ 10 Научный метод. Гипотезы и теории

Вечная трагедия науки: уродливые факты убивают красивые гипотезы.

Т. Гексли

Прогресс состоит не в замене неверной теории на верную, а в замене одной неверной теории на другую неверную, но уточнённую.

С. Хокинг

Этапы научного исследования. Итак, в основе естественно-научных исследований лежат наблюдение, эксперимент, измерение и математическая обработка полученных результатов.

Мы знаем также, что представления об этих основных приёмах изучения окружающего мира были заложены в конце XVI – начале XVII в., главным образом благодаря трудам Галилея. В это же время стали складываться понятия об общих принципах, которым должно соответствовать научное исследование.

Рис. 30. Фрэнсис Бэкон

Одним из первых мыслителей, высказавших свою точку

зрения по этому вопросу, был современник Галилея английский философ и политический деятель **Фрэнсис Бэкон** (1561–1626) (рис. 30). Он полагал, что такое исследование должно включать несколько этапов. Вначале исследователь обобщает имеющиеся факты, результаты наблюдений и экспериментов, выполненных им самим или другими учёными. Затем он применяет метод ***индукции,*** т. е. рассуждения от частных фактов к общим понятиям. В результате такого индуктивного рассуждения он создаёт гипотезу, т. е. высказывает предположения о тех закономерностях и причинах, которые могут лежать в основе наблюдаемых явлений. Но пока это только предположения, ведь на самом деле любую совокупность фактов можно объяснить каким-нибудь способом. Для того чтобы подтвердить правильность гипотезы, требуется предложить эксперименты для её проверки. Это должны быть такие эксперименты, которые не использовались при создании гипотезы. Для их планирования используется метод ***дедукции*** – рассуждения от общего к частному. Исследователь рассуждает так: «Если моя гипотеза верна, то в таких-то экспериментах должны получиться такие-то результаты». И наконец, осуществляется верификация гипотезы – её экспериментальная проверка. Если результаты совпадут с предполагаемыми, т. е. если гипотеза сможет предсказывать новые факты и явления, она становится научной теорией.

Таким образом, разработка любой научной теории начинается с построения гипотез. Гипотеза – это предположение о строении, организации или причинах существующих процессов или явлений. Впоследствии любая гипотеза может оказаться истинной или ложной. Многие гипотезы в течение долгого времени не могли быть доказаны, но впоследствии превратились в строго обоснованные теории. Другие же, хотя и принятые в своё время большинством учёных, как, например, теории флогистона или теплорода, были в дальнейшем опровергнуты более строгими экспериментами. Это обстоятельство вовсе не означает, что окончательно не доказанные гипотезы не должны приниматься во внимание учёным сообществом. Как писал Ф. Энгельс,

> *«если бы мы захотели ждать, пока материал будет готов в чистом виде для закона, то это значило бы приостановить до тех пор мыслящее исследование, и уже по одному этому мы никогда не получили бы закона».*

История науки знает случаи, когда неправильные гипотезы послужили основанием для создания абсолютно правильных теорий. Мы узнаем в дальнейшем, что ошибочная теория теплорода привела к созданию одной из важнейших наук –

термодинамики. В процессе развития научной мысли по мере верификации (экспериментальной проверки), уточнения существующих моделей, увеличения или уменьшения степени идеализации некоторые гипотезы отбрасываются, а другие становятся непреложными научными теориями. При этом надо заметить, что первые составляют явное большинство, что дало основание французскому математику А. Пуанкаре заметить, что «наука – это кладбище гипотез».

Концепция фальсификационизма

Такова общепринятая теория логики научного исследования. Однако в XX в. научные горизонты расширились, и в результате стали появляться новые философские теории, пытающиеся осмыслить более общие проблемы сущности и истории науки. Одной из наиболее широко распространённых в наше время концепций в этой области является точка зрения австрийского и британского философа **Карла Поппера** (1902–1994), который предложил ***концепцию фальсификационизма*** (от лат. falsus – ложный) (рис. 31). Особенностью рассуждений Поппера является то, что он отвергает любую верификацию как окончательное доказательство правильности теории. Сколько бы раз эксперименты ни подтверждали, что данная теория справедлива, всегда может найтись один факт, который будет ей противоречить, и этот единственный факт, если он твёрдо установлен, покажет, что теория не является абсолютно правильной. Поппер считает, что фактов, подтверждающих правильность научной теории, сколько бы их ни было, недостаточно для абсолютной уверенности в её истинности. Поэтому он считает критерием научности теории не верифицируемость, а ***фальсифицируемость,*** т. е. возможность быть опровергнутой. По мнению Поппера, автор теории должен сказать: «Докажите, что я не прав», – и сам предложить опыты, которые могли бы опровергнуть его точку зрения. До тех пор, пока результаты этих опытов не будут противоречить теории, её можно считать верной. Если же когда– нибудь новые факты не совпадут с ней, теорию постигнет участь отвергнутых гипотез. Например, до открытия Австралии можно было смело утверждать, что все лебеди белого цвета. Все имеющиеся наблюдения эту точку зрения подтверждали. Однако после того, как люди увидели чёрных лебедей, «теория белизны лебедя» была опровергнута.

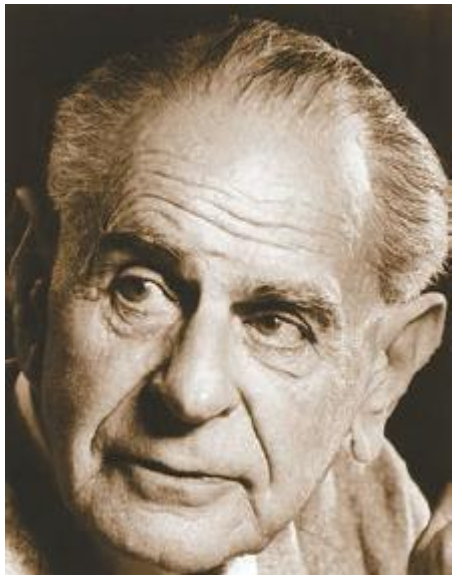


Рис. 31. Карл Поппер

Любая теория, неспособная предложить способа своего опровержения, не может считаться научной. Поэтому, например, не может считаться наукой астрология, сколько бы примеров удачного предсказания на основе гороскопов она ни приводила. Точно так же ненаучна и телепатия, поскольку нельзя предложить такой опыт, в котором будет показано, что её точно не существует. Но наряду с этими сомнительными концепциями в «ненаучные», по мнению Поппера, попадают и общепризнанные теории, например теории эволюции, поскольку мы не можем предложить эксперимент или создать такие условия, где могло бы выясниться, что теория естественного отбора окажется неправильной.

Концепция Томаса Куна. Научные революции.

Другим известным мыслителем, высказавшим в своей книге «Структура научных революций» оригинальную точку зрения на процесс развития науки, был американский философ и историк науки **Томас Кун** (1922–1996). Он считал, что развитие науки происходит скачкообразно путём «научных революций». Главным в концепции Куна является понятие ***парадигмы,*** под которой он понимает совокупность научных фактов и фундаментальных теорий, признаваемых научным сообществом в определённый период времени. В парадигму также входят общепринятые способы постановки научных проблем и способов их решения, которые входят в учебники и преподаются в учебных заведениях. Науку, развивающуюся в рамках существующей парадигмы, Кун называет ***«нормальной наукой».*** В период «нормальной науки» вначале создаются новые революционные теории и модели, делаются крупные научные открытия. Впоследствии, однако, когда основные проблемы решены, а выходить за рамки парадигмы научное сообщество не позволяет, наука начинает заниматься мелкими частными проблемами. Такие проблемы Кун называл «головоломками», так как для них, как, например, при складывании картинки из кубиков, во– первых, существует гарантированное решение, а во-вторых, это решение может быть получено неким предписываемым путём. Нельзя придумать собственную картинку или сложить из кубиков какую-либо пусть интересную, но не предусмотренную правилами фигурку.

По мере развития научного знания постепенно накапливаются факты, объяснить которые в рамках существующей парадигмы становится невозможно. В качестве примера можно рассмотреть идею Птолемея, заключающуюся в том, что Солнце, планеты и звёзды вращаются вокруг Земли. В течение многих веков это мнение принималось всеми. Однако чем точнее становились астрономические измерения, тем большее различие выявлялось между рассчитанным и действительным положением небесных светил. Попытки улучшить и немного уточнить геоцентрическую теорию Птолемея не принесли желаемых результатов. В науке наступил, по выражению Куна, кризис. Развитие этого кризиса и недовольство существующей парадигмой привело к появлению и довольно быстрому признанию гелиоцентрической системы Коперника, т. е. к появлению новой парадигмы. Смену парадигм Кун называет ***научной революцией.***

История науки знает много научных революций. В их число входит создание молекулярной теории строения вещества,

открытие генетических основ наследственности, появление квантовой физики и теории относительности и др. О них мы подробно поговорим в следующих главах учебника.

Проверьте свои знания

1. Что такое индукция, дедукция и верификация?

2. В каком случае, согласно К. Попперу, теория не может считаться научной?

3. Приведите примеры из науки, когда гипотеза становилась теорией.

4. Известны ли вам случаи, когда ошибочная гипотеза становилась основанием для правильной научной теории?

5. Что происходит в период «нормальной науки»?

6. Что происходит в результате научной революции?

7. Приведите примеры научных революций в разных науках.

Задания

Какие из приведённых теорий фальсифицируемы?

а) молекулярно-кинетическая теория;

б) теория происхождения жизни;

в) специальная теория относительности;

г) теория естественного отбора.

§ 11 Естествознание и другие способы человеческого познания

Прилежный, мудрый и верный истолкователь природы, древности и Священного Писания, он утверждал своей философией величие Всемогущего Бога, а нравом выражал евангельскую простоту.

Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого.

Из надписи на надгробии Ньютона

Лженаука пялит бесстыдные зенки на мою горящую руку. Размахивается кнутом. Это мы знаем. Носком ботинка в голень – в надкостницу! Тут же прямой удар в нос – ослепить! Двумя крюками добиваю расползающегося колосса. Лженаука испаряется.

В. Аксёнов. Затоваренная бочкотара

Несомненные и колоссальные достижения естествознания, особенно в XIX и XX вв., позволили, с одной стороны, достаточно просто объяснить явления, прежде казавшиеся необъяснимыми, а с другой – принесли людям всевозможные блага цивилизации, позволяющие жить в комфортной обстановке и избавляющие от тяжёлого физического, а с появлением компьютера – и умственного труда. Это породило у большинства людей веру во всемогущество науки и её чуть ли не исключительную роль в человеческом познании. Однако легко убедиться в том, что это неверно. Прежде всего, выясним, что такое естествознание и является ли оно синонимом слова «наука». По этому поводу существует двоякая точка зрения, причём многие часто употребляют слово «наука» в разных смыслах, порой не вполне это осознавая. С одной стороны, под этим словом понимают познавательную деятельность, направленную на получение

объективных знаний о природе, обществе и мышлении. С другой стороны, понятие «наука» часто используют для обозначения только естественных наук, в которых знания добываются с помощью тех методов, о которых рассказывалось в предыдущих параграфах. В связи с этим возникает вопрос: можно ли считать наукой гуманитарные науки? Споры по этому вопросу продолжаются уже очень долго и не утихают до сих пор. Словари часто дают разное толкование термина «наука». Попробуем разобраться в этой проблеме.

Соотношение естествознания и обществознания.

Успехи науки сформировали у многих мнение, что естествознание в принципе может объяснить все существующие в мире явления вплоть до человеческой психики и социального устройства. Ещё в середине XIX в. основоположник «научного коммунизма» Карл Маркс писал:

> *«Впоследствии естествознание включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включает в себя естествознание. Это будет одна наука» и «я смотрю на развитие общественной формации, как на естественно-исторический процесс».*

Позже выяснилось, что далеко не все сферы человеческой деятельности можно с лёгкостью объяснить при помощи естественных наук, а представители искусства и духовенства в подавляющем большинстве отказывались положить естественно-научные принципы в основу своей деятельности. Как писал в 70-е гг. XX в. английский физик и писатель Чарльз Сноу:

> *«Учёные и художественная интеллигенция до такой степени перестали понимать друг друга, что это стало навязшим в зубах анекдотом».*

В истории науки и культуры существуют две крайние точки зрения по вопросу соотношения естествознания и обществознания. Сторонники одной из них считают, что гуманитарные науки обязаны использовать все принципы естествознания с его экспериментальными и математическими методами. Они называются ***сциентистами*** (от англ. science – наука). Их противники утверждают, что естественные науки не только не могут объяснить проблемы человеческого бытия, но даже враждебны ему.

На самом же деле как естественные, так и гуманитарные науки представляют самостоятельную ценность и, несмотря на то что в их методах и подходах существует много различий, можно найти черты, их объединяющие. Хотя в гуманитарных исследованиях не существует строгого эксперимента, их положения и выводы строятся на наблюдении, а часто и на измерении, которые, как мы знаем, тоже входят в число научных методов. Гуманитарные науки не могут обойтись и без некоторого абстрагирования. Так историк, описывая определённый исторический период в целом, может не учитывать особенности поведения каждого человека или случайные события в конкретном населённом пункте. В гуманитарных науках редко используются строгие математические вычисления, но выводы этих наук обязательно должны строиться на законах логики, которые в некоторых случаях не уступают в строгости математическим выкладкам.

Существуют, конечно, и некоторые принципиальные различия, касающиеся, например, характера объяснений, применяемых в естествознании и в гуманитарных науках. Одним из таких различий является отношение к проблеме причины и цели. В естественных науках в качестве причины какого-либо явления признаётся только событие, предшествующее ему во времени. В противоположность этому историки, социологи и психологи не могут обойтись без ***телеологических объяснений,*** т. е. тех, которые раскрывают *цели, намерения и мотивы* поведения и деятельности людей.

Помимо естественных и гуманитарных наук существуют и другие способы познания мира, без которых человечество не могло бы существовать и развиваться. В первую очередь к ним относятся художественная литература, искусство и религия.

Искусство как способ познания мира.

Искусство, в отличие от науки, воздействует не столько на мыслительную, логическую сферу человека, сколько непосредственно на его ощущения, восприятия и сопровождающие их эмоции. Чем больше эмоций возникает у человека при восприятии произведения искусства, тем более талантливым оно признаётся. В отличие от науки, в искусстве форма не может быть оторвана от содержания. Преподаватель может внятно и доходчиво рассказать вам содержание какой-либо научной теории, и вы будете иметь о ней такое же представление, как если бы сами прочли в научной литературе. Но никакой

преподаватель, даже весьма художественно одарённый, не скажет, что он видел в музее картину великого художника и сейчас попытается изобразить её на доске, чтобы вы наглядно представили себе эту картину. Произведение искусства, в отличие от научного факта, невоспроизводимо. Даже записанное нотами музыкальное произведение звучит неодинаково у разных исполнителей.

Из этого, однако, ни в коем случае не следует, что в искусстве не присутствует познавательный компонент, а в науке – эстетический. Скорее всего, первые образцы искусства – наскальные рисунки первобытных людей служили руководством по приёмам охоты. Часто художественное произведение лучше, чем сухая инструкция, может подсказать правильное решение. Настоящая наука также немыслима без эстетики. Настоящий учёный всегда получает удовольствие от экспериментальной или теоретической работы. Существуют выражения «изящный эксперимент» или «красивое уравнение». Среди физиков популярен афоризм: «Если теория не красива, то она не верна»[5].

Наука и религия

Взаимоотношения науки и религии вызывали самые ожесточённые споры с того самого времени, когда появилось естествознание, т. е. с начала эпохи Возрождения. Не прекращаются они и в наше время. Однако надо признать, что конфликты между деятелями науки и Церковью были часто вызваны не мировоззренческими, а социальными или экономическими причинами. У различных социальных слоёв возникало желание установить своё идеологическое господство. Отсюда появлялось и гонение Церкви на естествознание с сожжением научных книг, а иногда и их авторов, и воинствующий атеизм, широко практиковавший осквернение и разрушение храмов. В действительности же между научным и религиозным способами познания нет противоречия: они исследуют различные стороны одной и той же реальности. Это прекрасно понимали многие великие естествоиспытатели. Основатель современной физики Исаак Ньютон был глубоко религиозным человеком и писал богословские сочинения. Но в свою натурфилософию он не включал ничего божественного. Вслед за Аристотелем он считал Бога «Перводвигателем», создавшим прекрасную Вселенную с её мудрыми законами природы и предоставившим этим законам работать. Естествознание избрало предметом своего исследования определённую часть необъятного Мира, полностью

постичь который, по-видимому, невозможно. Оно отлично справилось с этой задачей и продолжает делать на этом пути успехи. Но следует помнить, что при этом исследуется только часть огромного целого, и наука, сознательно ограничив поле своей деятельности, не может выйти за ею же самой поставленные рамки. На других полях работают другие механизмы познания, к которым относятся религия, философия и искусство. Поэтому позиция сциентистов кажется необоснованной – надо не отгораживаться от соседей по совместному труду и не пытаться захватить их территорию, а постараться встретиться у границ участков и протянуть друг другу руки. Как говорил американский физик, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман:

> *«…не всё, что не наука, уж обязательно плохо. Любовь, например, тоже не наука. Словом, когда какую-то вещь называют не наукой, это не значит, что с ней что-то неладно: просто не наука она, и всё».*

Псевдонаука

Часто можно услышать выражение «лженаука», причём это слово всегда имеет негативную окраску. Являются ли религия и искусство лженаукой? Очевидно, нет. Что же тогда лженаука?

Лженаука, или псевдонаука, – это теория или учение, которое, не являясь научным, настаивает на своей научности. Все основные правила научного исследования, о которых говорилось ранее, в лженауке не соблюдаются. Она никогда не опирается на эксперименты, которые могут быть воспроизведены независимыми исследователями, и принципиально игнорирует факты, противоречащие её положениям, которые, согласно концепции К. Поппера, должны погубить любую теорию. Все предложения экспериментально проверить их теоретические построения представители лженауки постоянно отвергают, апеллируя при этом к «здравому смыслу», «общеизвестным фактам» или к сомнительным авторитетам. Отличительной чертой лженауки обычно является её помпезность, провозглашение великих открытий, которые раскрывают перед человечеством принципиально новые пути и избавляют его от многих невзгод.

Надо сказать, представители естественных наук иногда тоже занимают чрезмерно агрессивную позицию, категорически утверждая, что необъяснимых (или ещё не объяснённых наукой) явлений в принципе не существует. Такое заявление может оказаться поспешным. Многие из фактов, о которых сообщают наблюдатели, не противоречат законам физики, а просто не вытекают из них. Они не могут быть подтверждены методами науки и поэтому не существуют для науки. Однако это не значит, что их не существует вообще. История знает много примеров, когда в результате работы над ложными теориями возникали настоящие науки. Так из астрологии возникла астрономия, из алхимии – современная химия, из теории теплорода – термодинамика.

Проверьте свои знания

1. На чём основывается уверенность во всемогуществе науки?

2. Что такое телеологическое объяснение?

3. В чём заключается сходство и различие методов естественных и гуманитарных наук?

4. Что надо понимать под лженаукой?

Задания

1. Нарисуйте сравнительную таблицу или напишите эссе, где сравните основные принципы, установки и методы, используемые естественными и гуманитарными науками, искусством и религией.

2. Оцените роль науки в жизни человека и общества.

Ваша будущая профессия

1. Каков профиль школы, в которой вы учитесь, – естественный, гуманитарный, технический или какой-либо другой? Какие предметы у вас являются профилирующими? Основы каких наук вы изучаете на этих уроках?

2. Специальность – комплекс приобретённых путём специальной подготовки и опыта работы знаний, умений и навыков, необходимых для определённого вида деятельности в рамках той или иной профессии. Профессия – социально значимый род занятий человека, вид его деятельности. Какую специальность вы планируете приобрести в ходе дальнейшего обучения? Определились ли вы уже с выбором профессии?

3. Напишите краткое эссе о профессиях, которые вас интересуют.

Мир, который мы ощущаем

§ 12 Пространство, время, материя

Время – это всецело последовательность и больше ничего, пространство – всецело положение и больше ничего, материя – всецело причинность и больше ничего.

А. Шопенгауэр

И в пути, и на отдыхе – ибо отдых входит в путешествие – нужно без малейшего нетерпения отдаваться на волю времени, предоставляя ему преодолевать пространство. Когда-нибудь, и в конце концов раньше, чем ждёшь, оно с ним справится.

Т. Манн. Иосиф и его братья

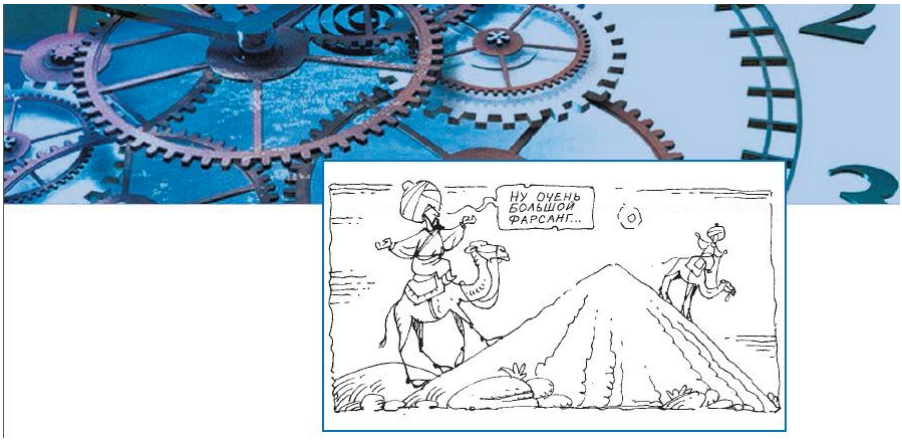
Триединая картина мира.

До открытия сложных природных явлений, таких как электричество, и уж тем более до открытия строения атома, люди знали, что в мире, где они живут, существуют три очевидные и основополагающие вещи: пространство, время и нечто, из чего состоят сами люди и все окружающие их предметы, т. е. вещество. Это вещество может быть твёрдым, мягким или жидким (о существовании газов догадались позднее) и обладает массой.

Очевидно, что каждый предмет *где-то* находится, т. е. занимает место, причём каждое место может быть занято только одним предметом. Какие-то предметы могут находиться далеко друг от друга, а какие-то близко. Отношения между местами, занятыми предметами, определяются ***расстоянием*** между ними. Расстояние между различными частями одного и того же тела определяет его размер.

Но положение тел и расстояние между ними не всегда бывают одинаковыми. Предмет можно поднять, и тогда расстояние между ним и поверхностью земли увеличится. Можно его перенести, и тогда расстояние между ним и другими предметами тоже увеличится или, наоборот, уменьшится. Иногда

предметы могут изменять своё положение сами, как, например, люди, животные, падающая вода или упавший с горы камень (рис. 32). Это изменение называют ***движением.***



Предмет, изменивший свое положение, когда-то находился в ином месте. Следовательно, в ходе движения меняется ещё что-то, что мы называем временем. Получается, что «что-то», «где-то» и «когда-то» тесно связаны между собой. Впоследствии эти понятия стали называть соответственно веществом (а позднее в более обобщённом виде – материей), пространством и временем, а характеристики, используемые для их измерения, – массой, расстоянием и длительностью.

Расстояние и длительность.

Эти понятия действительно очень тесно связаны между собой. Настолько тесно, что, по крайней мере, до XX в. физика никак не могла разобраться в этой связи. В обыденной жизни мы часто непроизвольно перемешиваем понятия расстояния и длительности. Ведь как объяснить человеку, что пункт А находится близко от него, а пункт Б – далеко? Точного расстояния в метрах и километрах мы можем и не знать, да и не всякий способен легко оценить эту величину. Проще сделать это с помощью времени, сказав, например, «пятнадцать минут пешком» или «двадцать минут на метро». Здесь для связи пространства и времени мы неявно используем понятие скорости. Предполагается, что скорость пешехода или поезда метро нашему собеседнику известна.

Метод оценки расстояний с помощью длительности люди использовали с древнейших времён. Так, в Персии существовала

мера расстояния – фарсанг, которая означала путь, проходимый караваном от одного привала до другого. Фарсанг мог быть различным, в зависимости от того, лежит путь по пересечённой или ровной местности, в гору или с горы. Со временем, конечно, фарсанг приобрёл постоянную длину. Один норвежский путешественник, посетивший в конце IX в. Англию, рассказывал королю о расстояниях в Скандинавии, называя число дней плавания между разными её частями при попутном ветре. Герой рассказа Л. Н. Толстого «Много ли человеку земли нужно?» покупал землю по цене «тысяча рублей за день». Под этим подразумевается участок земли, который можно обойти за день.

Рис. 32. Любые изменения положения живых и неживых объектов во времени и пространстве называют движением

Хорошо понимая, что пространство и время связаны между собой скоростью, жадный Пахом побежал так быстро, что к концу дня упал мёртвым. Измерение расстояния с помощью времени используется и в науке: так, в астрономии большие расстояния измеряют в световых годах. Световой год равен расстоянию, которое свет проходит за год.

Массу, т. е. количество материи, тоже в принципе можно измерить с помощью представлений о расстоянии и длительности, рассчитывая, например, количество земли, которое бригада рабочих перенесёт в течение часа на расстояние 100 м.

Особенно тесно пространство связано со временем. Эта связь обнаруживается не только в повседневной жизни, но и в точных физических исследованиях. На ней построена, как мы узнаем дальше, теория относительности А. Эйнштейна, а немецкий математик Герман Минковский в 1908 г. предложил объединить время и пространство в единую систему координат (такое пространство ещё называют пространством Минковского).

Первичность пространства, материи и времени.

Понятия «пространство», «время» и «материя» являются первичными. Описание и объяснение различных явлений и систем происходит с использованием этих понятий. Как говорилось в § 7, именно для определения длительности, расстояния и массы были придуманы первые единицы измерения. В дальнейшем были созданы точные методы для измерения этих величин и на их основе рассчитаны значения других физических величин, таких как скорость, сила и энергия. Впоследствии, когда были открыты электрические и внутриатомные взаимодействия, в систему измерений были добавлены новые единицы, однако общая триединая картина мира не изменилась, так как и электромагнитное поле, и внутриатомные поля можно тоже рассматривать как виды материи. Наиболее убедительно неразрывное единство пространства, времени и материи было продемонстрировано в теории относительности А. Эйнштейна. Подробнее с тремя основными сущностями, на которых строится естествознание, мы познакомимся в следующих параграфах.

Проверьте свои знания

1. Какие три сущности лежат в основе нашего понимания Мира?

2. Какие величины обязательно изменяются в процессе движения?

3. Чем определяются размеры предмета?

Задания

1. Выполните практическую работу. Один из учеников проходит неторопливым шагом школьный коридор сначала поперёк, а затем вдоль. Один наблюдатель измеряет число

сделанных шагов, а второй – затраченное время по секундомеру. Затем всё повторяется, только идущий ученик движется с большей скоростью. Сравните данные, полученные в обоих экспериментах, и сделайте выводы.

2. Прочитайте эпиграф к параграфу (высказывание А. Шопенгауэра). Как вы его понимаете? Согласны ли вы с точкой зрения автора? Сравните свою точку зрения с точкой зрения одноклассников.

3. Оцените расстояния до известных вам объектов, используя понятия длительности и массы.

§ 13 Пространство и расстояние

Однажды древнегреческий царь Птоломей I Сотер, который правил в египетской Александрии, потребовал у объяснявшего ему законы геометрии Евклида сделать это покороче и побыстрее. Тот ответил: «О великий царь, в геометрии нет царских дорог…»

Итак, мы выяснили, что интуитивно каждый человек понимает, что такое пространство. А как обстоит дело с более строгой научной характеристикой этого понятия? То пространство, с которым мы привыкли иметь дело в обыденной жизни, где мы измеряем длины, расстояния и размеры, называется евклидовым пространством по имени греческого математика Евклида, жившего около III в. до н. э. и создавшего аксиомы геометрии – науки об измерениях в пространстве. Геометрия Евклида была единственно признанной до появления работ российского математика Н. И. Лобачевского и немецкого математика Г. Римана.

Системы координат.

Обычно для описания пространства используется наиболее простая система координат, называемая прямоугольной. Её ещё называют декартовой по имени французского учёного **Рене Декарта**, который впервые предложил её в 1637 г. (рис. 33, 34). В этой системе определяется точка, которая называется началом координат или точкой отсчёта.

Рис. 33. Рене Декарт

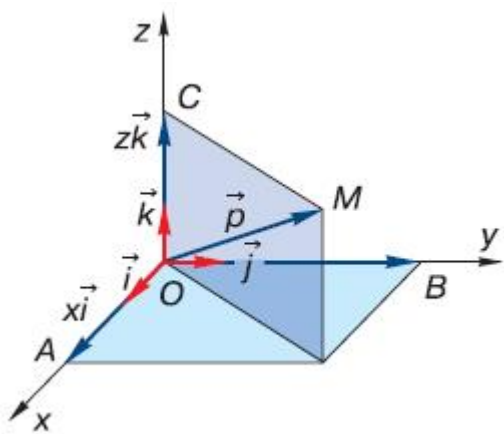


Рис. 34. Декартова система координат

В этой точке пересекаются три взаимно перпендикулярные прямые, одна из которых называется ***осью абсцисс,*** или осью x, вторая – ***осью ординат*** (осью y), а третья – ***осью аппликат*** (осью z). Очевидно, что в том пространстве, где мы обитаем, большее число взаимных перпендикуляров построить невозможно. Поэтому наше пространство называют трёхмерным. В физике и математике часто рассматриваются пространства с большим числом измерений: от четырёхмерного пространства-времени Минковского до пространств, имеющих бесконечное число измерений в квантовой физике. Однако наглядно представить себе пространство, где имеется больше трёх измерений,

невозможно. Можно, наоборот, уменьшить число координат до двух, ограничившись только осями абсцисс и ординат, и получить систему координат на плоскости. Мы уже имели дело с такой системой в § 8, когда знакомились с построением графиков. Полная же система координат, описывающая положение любой точки в пространстве, является трёхмерной. Для того чтобы определить местонахождение этой точки, надо знать три числа, обозначающие проекции[6] этой точки на оси абсцисс, ординат и аппликат (x, y, z). Сумму величин $p^{\rightarrow} = xi^{\rightarrow} + yj^{\rightarrow} + zk^{\rightarrow}$ называют *вектором,* определяющим положение точки в пространстве. Поскольку оси координат представляют собой бесконечные прямые и каждая из них распространяется в обе стороны от начала координат, то *x, y* и *z* могут иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Расстояние между двумя точками в евклидовом пространстве определяют с помощью теоремы Пифагора. Глядя на рисунок, можно легко убедиться в том, что на плоскости расстояние между двумя любыми точками равно:

$\sqrt{x^2 + y^2}$,

а в пространстве:

$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

В некоторых случаях используют не прямоугольные, а другие системы координат, например цилиндрическую и сферическую. Цилиндрическая система строится следующим образом. Допустим, нам нужно определить положение точки ***M*** (рис. 35, А). Пусть в пространстве задана декартова прямоугольная система координат *Oxyz* и *R* – расстояние от точки *M* до координатной оси *Oz*.

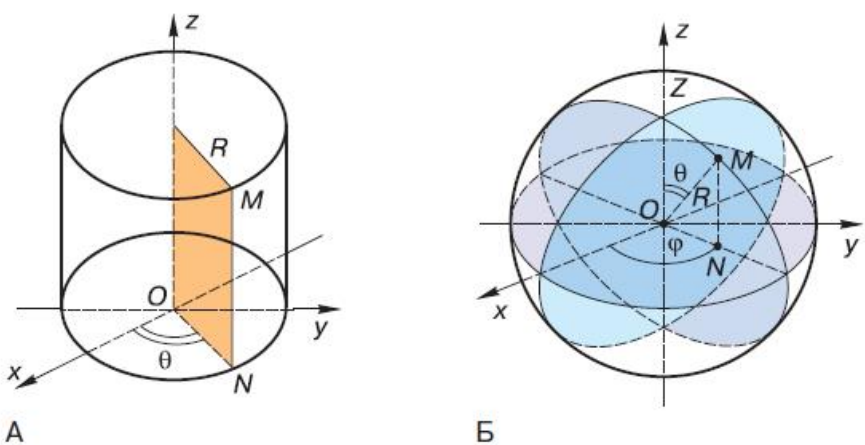


Рис. 35. Цилиндрическая (А) и сферическая (Б) системы координат

Тогда одной из координатных поверхностей *(R* = const), проходящих через точку М, является цилиндрическая поверхность вращения с осью *Oz* и радиусом *R* (поэтому координаты точки *M* называются ***цилиндрическими)***. Если при этом 0 – угол, который плоскость, проходящая через точку *M* и координатную ось *Oz,* образует с координатной плоскостью Oxz, то цилиндрическими координатами точки *M* является упорядоченная тройка чисел (R; θ; Z), где *Z* – проекция *M* на ось *Oz*.

Сферическая система координат используется в астрономии и навигации. Для определения положения точки необходимо знать её расстояние от начала координат – центра сферы (т. е. радиус сферы) и два угла (рис. 35, Б). Попробуйте сами построить такую систему, воспользовавшись приведённым рисунком.

Свойства пространства.

Согласно современным представлениям, пространство является ***однородным,*** т. е. при всех прочих равных условиях, например при действии одинаковых сил, все физические процессы протекают одинаково в любой точке пространства.

Другим свойством пространства является его ***изотропность,*** или ***изотропия,*** – отсутствие в пространстве какого-либо выделенного направления. Во Вселенной нет «верха и низа» или «права и лева». Если любую систему повернуть на любой угол, никакие физические процессы в ней не изменятся. Некоторые законы механики основаны именно на том, что пространство обладает свойством изотропности.

Проверьте свои знания

1. Кем была создана первая геометрия?

2. Как называются оси в декартовой системе координат?

3. Каким образом можно определить вектор?

4. Что означают понятия «однородность пространства»; «изотропность пространства»?

5. Какая система координат (двух– или трёхмерная) используется при снятии электроэнцефалограммы и электрокардиограммы?

Задания

1. Попробуйте построить систему координат, воспользовавшись рисунком в этом параграфе. Укажите в каждой системе координат определённую точку. Обменяйтесь чертежами с одноклассниками. По приведённым чертежам определите координаты заданной точки в прямоугольных, цилиндрических и сферических координатах.

2. Обсудите в классе, почему сферическую систему координат в основном используют в астрономии и навигации.

§ 14 Время и длительность

– А-а! Тогда все понятно, – сказал Болванщик. – Убить Время! Разве такое ему может понравиться! Если б ты с ним не ссорилась, всегда могла бы просить у него всё, что хочешь. Допустим, сейчас десять часов утра – пора идти на занятия. А ты шепнула ему словечко и р-раз! – стрелка побежала вперёд! Половина второго – обед!

Л. Кэрролл. Алиса в стране чудес

Сущность времени

Понимание природы времени более сложно, чем понимание пространства. Пространство воспринимается легче потому, что мы можем свободнее в нём ориентироваться, перемещаясь в любом направлении, двигаясь в одну сторону и возвращаясь обратно. Со временем это делать нельзя, временем мы управлять не можем. Во времени что-то появляется, меняется и непременно исчезает. Это последнее обстоятельство всегда вызывало у людей страх и тревогу. В древнегреческой мифологии время олицетворяет божество Кронос, порождающий и пожирающий своих детей. Не будучи способными понять сущность времени, люди часто используют для его описания глаголы, которые на самом деле описывают движение в пространстве неких предметов. Время в нашей речи может «идти», «лететь», «ползти», «проходить» и т. д. Однако время не предмет и в пространстве не передвигается, но за неимением других способов его описания мы уподобляем время движению. Часто приходится слышать, что время – это последовательность событий. Но тогда возникает вопрос: последовательность в чём? Ясно, что не в пространстве. Значит, во времени. Получается, что «время – это последовательность событий во времени». Понятно, что из такого определения многого не извлечёшь.

Из представления о времени как о чём-то схожем с пространством рождаются многочисленные литературные произведения о машине времени (рис. 36), которые пользуются

большой популярностью, несмотря на их не только ненаучность, но и просто логическую бессмысленность. Ведь что значит, например, отправиться в будущее? Да ведь мы именно это всю жизнь и делаем. Для того чтобы ехать в будущее, не нужна никакая машина времени. А что будет, если мы поедем в прошлое?.. Допустим, мы попали во вчера. Но ведь мы и были в нём *вчера* и не знали и не можем знать, что будет *завтра,* т. е. *сегодня.* А если отправиться ещё дальше в прошлое, то мы будем делаться всё моложе и моложе, пока не исчезнем в момент своего рождения. А в позапрошлый век мы не попадём, потому что *тогда нас не было.* Психологической подоплёкой разговоров о машине времени служит бессознательное убеждение в том, что существуют два времени – одно моё собственное, в котором я проживаю свою жизнь, а другое – объективное, или чужое, где существует всё остальное.

Рис. 36. Попытки сконструировать машину времени предпринимались человечеством неоднократно

Если я завтра окажусь в Древнем Египте, то для меня это

будет завтра, а для всех остальных три тысячи лет назад. Такое представление ни на чём не основано, ведь весь наш опыт показывает, что время для всех одинаково. Можно было бы, конечно, допустить, что наши знания пока недостаточны и когда–нибудь машина времени будет создана на основе каких-то новых, в настоящее время неизвестных, законов физики. Но тогда возникает вопрос, который задал английский космолог Стивен Хокинг:

> *«Если путешествия во времени возможны, то где же туристы из будущего?»*

Почему к нам не приезжают люди из того будущего, когда машина времени уже изобретена? Приходится признаться, что мы их видели только в кино.

Понимание природы времени представляет, главным образом, психологическую и философскую проблему. Однако как в повседневной жизни, так и в научных исследованиях мы не можем обходиться без времени и, более того, без его измерения. Хотя мы не можем точно сказать, что такое время, мы всегда интуитивно его ощущаем. Лучше всех о понимании проблемы времени сказал философ Аврелий Августин, живший в III–IV вв.:

> *«Если никто не спрашивает меня, знаю; если же хочу объяснить спрашивающему, не знаю».*

Проблема измерения времени.

Независимо от понимания сущности времени необходимость измерения времени в практических целях возникла у человечества очень давно. Древнеегипетские и вавилонские жрецы определяли время с большой точностью, измеряя движение планет и звёзд по небесному своду (рис. 37). Правда, таким образом можно было точно измерять только большие промежутки времени, соизмеримые с годами. Наименьшей единицей времени, которую можно было измерять по движению Солнца, были сутки (день). Для более точного определения времени сутки делили на часы. Однако поскольку длина светового дня неодинакова в различное время года, то и часы имели разную продолжительность. У некоторых народов сутки делились на 12 дневных и 12 ночных часов. Естественно, что летом дневные часы оказывались продолжительнее ночных, а зимой – наоборот.

Во всех случаях измерить время можно только с помощью

какого– то движения. В качестве единицы измерения времени может выступать только периодическое движение. Оно должно быть периодическим, т. е. нужно, чтобы определённое состояние повторялось через определённые промежутки времени. Но мы опять ловим себя на противоречии. Что такое «через определённые промежутки времени»? Откуда берётся ощущение времени? Некоторые мыслители Античности и Средневековья считали, что поскольку измерение времени основывается на движении небесных светил, то это движение и есть само время. Однако такое объяснение многим казалось неприемлемым: почему время создаётся только движением Солнца и звёзд, а не чего-либо ещё? Поэтому многие мыслители, такие как Аристотель, Августин и Кант, считали, что время – это природное внутреннее ощущение человека, оно протекает в его душе.

Рис. 37. Ещё в древности люди умели точно определять большие промежутки времени, измеряя движение планет и звёзд по небесному своду

Основатель современной физики Исаак Ньютон утверждал, что существует два вида времени:

> *«…абсолютное, истинное математическое время… без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью»* и *«относительное, кажущееся или обыденное время есть… постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обычной жизни».*

Однако абсолютное время у Ньютона являлось только предметом его философских размышлений. В физике же и вообще в естествознании используют именно «меру продолжительности», которая «совершается при посредстве движения» и в соответствии с правилами научного метода должна быть измерена.

Проверьте свои знания

1. Какими способами пользовались в древности для измерения времени?

2. Что говорили о времени Аристотель и Августин?

3. Какой парадокс лежит в основе рассуждений о машине времени?

4. Какие два времени различал Ньютон?

5. Вспомните, когда время в вашей жизни тянулось особенно долго; быстро летело. С чем это было связано? Что в связи с этим можно сказать о субъективности восприятия времени разными людьми в разное время?

Задания

1. Сравните субъективную и объективную протяжённость времени. Для этого постарайтесь мысленно определить, когда пройдёт минута времени после поданного сигнала, и поднять в этот момент руку. Учитель при этом смотрит на секундомер и отмечает время, которое прошло до этого момента. По окончании опыта результаты сравниваются. Таким образом можно определить, кто из учеников является «укоротителем», а кто –

«удлинителем» времени.

2. Прочитайте знаменитый научно-фантастический рассказ американского писателя Рэя Брэдбери «И грянул гром». Чем закончилось для главного героя путешествие во времени? Как вы считаете, возможен ли от вмешательства в прошлое такой эффект, как описывает его автор? Выскажите свою точку зрения и обсудите её с одноклассниками.

3. Вспомните, какие вам известны художественные фильмы, герои которых путешествуют во времени. Как вы думаете, почему подобные сюжеты пользуются большой популярностью как у режиссёров, так и у зрителей?

§ 15 Измерение времени. Часы

Порой часы обманывают нас,
Чтоб нам жилось на свете безмятежней.
Они опять покажут тот же час,
И верится, что час вернулся прежний.

Обманчив дней и лет круговорот:
Опять приходит тот же день недели,
И тот же месяц снова настаёт —
Как будто он вернулся в самом деле.

Известно нам, что час невозвратим,
Что нет ни дням, ни месяцам возврата,
Но круг календаря и циферблата
Мешает нам понять, что мы летим.

С. Маршак

Часы: от солнечных до квантовых.

В своих лекциях по физике известный учёный Р. Фейнман так и говорит:

> *«Дело не в том, как дать определение понятия «время», а в том, как его измерить».*

Механизмы и приборы, используемые для измерения времени, называют часами. По мере того как совершенствовались

используемые человеком технические средства и ускорялись темпы жизни, требовалось изобретать всё более и более точные часы. Когда-то время определяли исключительно по движению Солнца и Луны (рис. 38). Использование солнечных часов имело существенный недостаток – ими можно было пользоваться только днём, да и то в солнечную погоду. Поэтому ещё в глубокой древности были изобретены механические устройства, позволявшие измерять отрезки времени вне зависимости от астрономических явлений (рис. 39). Одними из первых таких конструкций были *клепсидры* – водяные часы, измерявшие время по скорости вытекания воды. Клепсидры появились в Древнем Вавилоне и Египте более 3,5 тыс. лет назад.

Рис. 38. Солнечные часы – одно из первых устройств, позволяющих определять время

В Древней Греции изобретателем клепсидр считали Ктезибия из Александрии. В его устройстве вода равномерно поступала в сосуд, на поверхности которого находился поплавок. На поплавке была установлена фигурка с указкой в руке.

А

Б

В

Г

Д

Е

Ж

Рис. 39. Различные конструкции часов, позволяющие измерять время независимо от времени суток и погоды: А – водяные часы; Б – маятниковые часы; В – песочные часы; Г – песочно-водяные часы; Д – огневые часы;Е – будильник; Ж – башенные часы

Рядом находилась пластинка, на которую были нанесены деления, соответствующие определённому часу. Фигурка постепенно поднималась вместе с водой, и указка показывала, который час.

Одновременно с клепсидрами использовали *песочные часы,* но они получили меньшее распространение, потому что песок гораздо тяжелей воды и сыплется не так равномерно, как течёт вода. Клепсидры же, постоянно усовершенствуясь, получили популярность в Византии, а затем проникли в Западную Европу, где служили украшением городских площадей вплоть до XVIII в.

Таблица 4

Точность работы часов

Тип часов	Время, за которое часы могут ошибиться на 1 с
Песочные часы	1,5 мин
Маятниковые часы	3 часа
Камертон	1 сутки
Колебания кварцевого кристалла	3 года
Колебания атома цезия	30 тыс. лет
Водородный мазер	3 млн лет

В начале второго тысячелетия в Германии были изобретены *маятниковые часы*, которые впоследствии стали вытеснять клепсидры из-за большей точности. В XIII в. в Англии в Вестминстере были построены первые башенные часы. Долгое время городские часы не имели минутной стрелки, что вполне устраивало средневековых горожан с их неторопливым образом жизни. Но затем производство часов стало стремительно совершенствоваться. Маятниковые часы имели большой недостаток – они были довольно громоздкими и могли работать только в вертикальном положении. И вот в конце XV в. появляются значительно более компактные и мобильные *пружинные часы,* где пружиной служила свиная щетина. В XVII в. знаменитый физик Х. Гюйгенс запатентовал карманные часы, а почти через двести лет появились и наручные, которые вначале служили исключительно дамским украшением.

Со временем появились часы, отмеряющие время по числу электрических импульсов, а затем – *кварцевые часы,* использующие кристалл кварца, генерирующий колебания определённой частоты. Последним достижением в этой области стало измерение времени с использованием квантовых процессов (водородный мазер). Соответственно увеличивалась точность часов (табл. 4).

Единицы времени.

Вместе с прогрессом в измерении менялось и значение эталонной секунды, становясь всё более точным. Когда-то секунду отсчитывали от продолжительности года, т. е. периода обращения Земли вокруг Солнца. Получалось, что обычный (не високосный) год состоит из 31 536 000 секунд. А так как бывают и более продолжительные, високосные, годы, то секундой было принято считать приблизительно $^{1}/_{31\ 556\ 926}$ времени обращения Земли вокруг Солнца. Однако такой эталон для современных измерений оказывается недостаточно точным. Поэтому в 1967 г. был принят

новый эталон секунды, основанный на частоте колебания атома цезия. В будущем, возможно, за эталонную единицу примут колебания водородного мазера.

В настоящее время для характеристики отрезков времени больше секунды используют единицы, не входящие в СИ: минуту, час, неделю, сутки, год. Продолжительность суток составляет ровно 84 600 с. Для интервалов времени меньше секунды используют десятичные единицы. Одну тысячную долю секунды называют миллисекундой (мс), миллионную – микросекундой (мкс), а миллиардную – наносекундой (нс). Миллисекунда не такая уж малая величина, как может показаться на первый взгляд. За это время Земля пролетит по своей орбите около 30 м, а свет пройдёт расстояние в десять тысяч раз больше. Продолжительность нервного импульса составляет 1–3 мс. В электронных технических приборах, например в компьютерах, счёт идёт на микросекунды. Квантовая физика, имеющая дело с атомами и излучениями, изучает процессы, продолжительность которых составляет наносекунды и даже меньше.

Проверьте свои знания

1. Опишите устройство клепсидры.

2. Кто и когда изобрёл карманные часы?

3. Чем отличались средневековые башенные часы от современных?

Задания

1. Попробуйте сконструировать водяные часы. Для этого возьмите стакан с нанесёнными на него делениями и поставьте его под кран, пустив тонкую струйку воды. Отмечайте по секундомеру, за какое время вода поднимется на одно деление. Затем вылейте воду, поставьте пустой стакан под ту же струйку и подождите, пока вода не достигнет последнего деления. Определите, сколько времени на это понадобилось. Проверьте точность часов, сравнив результаты первого и второго измерений.

2. Выставьте ваши часы (наручные, настенные или др.) в соответствии с сигналом точного времени, переданным по радио. Спустя сутки оцените точность хода ваших часов.

§ 16 Движение

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить.
Сильнее бы не мог он возразить;
Хвалили все ответ замысловатый.

А. Пушкин

Движение: равноускоренное и равномерное.

Как мы уже говорили, считается, что современная физика, а следовательно, и всё современное естествознание, началась с опытов Галилея (рис. 40).

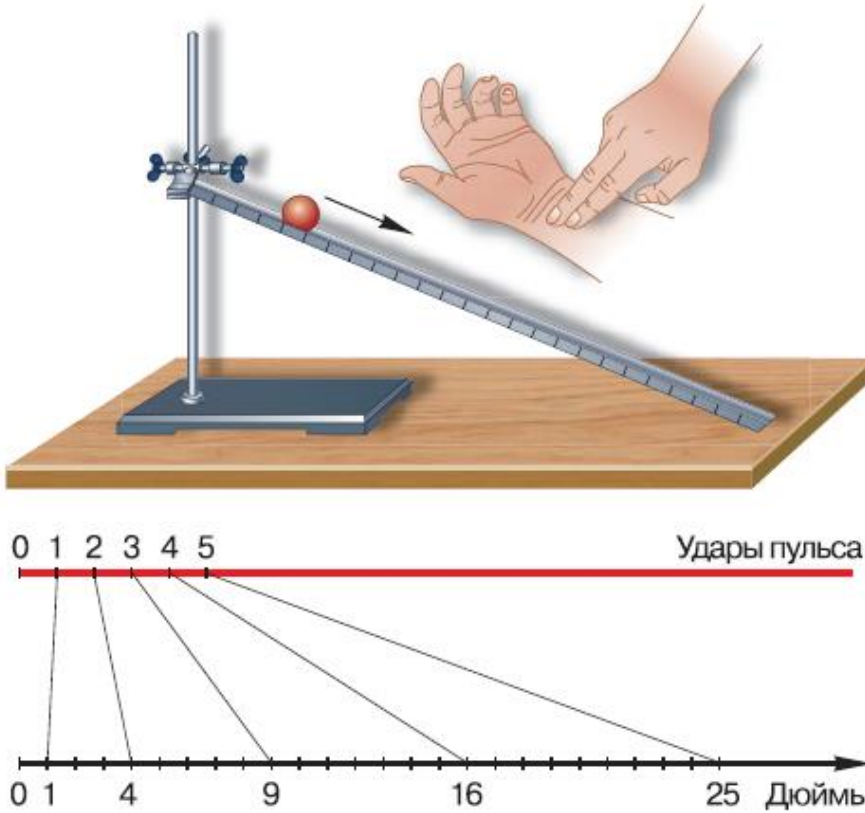


Рис. 40. Опыт Галилея

Он начал свои исследования с того, что пускал шар по наклонной плоскости и определял путь, который тот прошёл, и время, за которое он был пройден. В том чтобы измерять путь, большой проблемы не было, а вот точного измерения коротких интервалов времени, как мы знаем, в то время не существовало. Поэтому Галилей в качестве эталона времени сначала использовал собственный пульс, а впоследствии сам изобрёл достаточно совершенные для своего времени часы. Результаты Галилей изображал таким образом: чертил две линии, на одной откладывал число ударов пульса, а на другой – пройденные шаром пути. Наблюдения показали, что если последовательно считать удары пульса: 1, 2, 3, 4 и т. д., то проходимые шаром пути пропорциональны числам 1, 4, 9, 16 и т. д., т. е., выражаясь современным языком, пройденный путь пропорционален квадрату времени. Сейчас, когда мы уже знакомы с прямоугольными координатами, мы можем поступить по– другому: построить график, где по оси абсцисс отложить время, а по оси ординат – пройденный путь. У нас получится кривая линия,

соответствующая уравнению $S \sim t^2$ и называемая параболой. Такая зависимость между пройденным путём и временем наблюдается при ***равноускоренном*** движении, т. е. когда скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково. Примером такого движения является движение тела под действием силы притяжения Земли.

Как можно охарактеризовать движение? Можно нарисовать таблицу, где в один столбец заносить интервалы времени (например, секунды), а в другой – пройденный путь. Более наглядным будет изображение на графике, о котором мы только что говорили. Предположим, что мы имеем дело с таким движением, в котором тело за равные промежутки времени проходит одинаковые пути. Легко убедиться в том, что график в этом случае будет прямой линией. Такое движение называется ***равномерным,*** т. е. тело движется с постоянной скоростью.

Скорость.

Что же такое скорость? В случае равномерного движения объяснить это просто. Скоростью называется отношение пройденного пути ко времени, за которое он был пройден. На графике равномерного движения скорость равна тангенсу угла, образованного осью абсцисс и прямой линией – графиком зависимости пути от времени. Но как быть в тех случаях, когда движение не является равномерным, например при равноускоренном движении, график которого, как мы знаем, имеет вид параболы? Глядя на график, легко убедиться в том, что угол наклона параболы, а следовательно, и его тангенс постоянно меняются. Что же в этом случае считать скоростью? Попробуем рассуждать так. Пусть в нашем опыте (точнее, в опыте Галилея) шар за 4 с прокатился 16 м. Можно ли считать, что его скорость равна 16 м / 4 с = = 4 м/с? Это можно сделать приблизительно, сказав, что ***средняя скорость*** за всё время пути была 4 м/с. Но такой ответ не будет точным, так как скорость постоянно менялась. Давайте разделим процесс движения на две равные части и подсчитаем скорость отдельно за первые две и за вторые две секунды. У нас получится, что в начале шар катился со скоростью 5 м / 3 с = 1,67 м/с, а в конце его скорость составила 25 / 7 = 3,57 м/с. Мы определили скорость для начального и для конечного этапа движения и увидели, что она увеличивалась. Но на протяжении этих этапов она ведь тоже менялась. Разделим период движения на четыре интервала и получим 1, 2, 3 и 4 м/с. Но ведь шар катился не рывками: внутри этих интервалов его

скорость тоже менялась. Если мы используем вместо пульса очень точные часы, мы можем делить время на сколь угодно малые интервалы и получать всё более точные значения скорости в данный момент времени. В идеале эти интервалы можно сделать бесконечно малыми, и тогда мы определим значение ***мгновенной скорости.***

Если обозначить пройденный путь как ΔS, а время, в течение которого он был пройден, как Δt, то скорость в среднем будет равняться $\Delta S/\Delta t$, а мгновенная скорость получится, если AS и At сделать бесконечно малыми. Математически это называется ***пределом*** отношения $\Delta S/\Delta t$, когда At стремится к нулю, или ***производной*** пути по времени.

Если сотрудник ДПС останавливает водителя и говорит, что его автомобиль двигался со скоростью 100 км/ч, то это не значит, что тот проехал за последний час сто километров. Просто радар полицейского, как и спидометр автомобиля, показывает мгновенную скорость. Она означает, что, если водитель будет продолжать ехать с той же скоростью в течение часа, он проедет ровно сто километров.

Замена движущегося предмета точкой.

Надо сразу же сделать одно замечание, которое может показаться несущественным в обыденной жизни. Однако в теоретической физике эта деталь имеет большое значение. Что значит тело движется равномерно? Ведь тело может быть большим и сложно организованным. Оно может во время движения менять свою форму, сжиматься или вращаться. Вот мимо нас бежит собака. Вроде бы она бежит с постоянной скоростью, т. е. равномерно. Но в то же время её ноги движутся то

вперёд, то назад, голова иногда оказывается впереди передних лап, а иногда сзади них. Движение чего мы должны учитывать? В уравнениях физики рассматривается движение не всего тела, а только одной точки, являющейся как бы его представителем. Скорость этой точки и принимается за скорость всего тела. Когда катится колесо, его точки не движутся по прямой, а описывают круги, т. е. вращаются, кроме одной – центра, которая движется прямолинейно. Вот её скорость и считается скоростью движения колеса. У собаки тоже можно выделить точку где-нибудь в её центре, которая будет двигаться прямолинейно. Конечно, если мы считаем, что в движущемся предмете ничто не вращается и не качается, мы можем судить о его движении по любой точке. Когда мы говорим, что автомобиль движется со скоростью 100 км/ч, то неважно, имеется в виду его радиатор или багажник. Представление о замене предмета движущейся точкой служит одним из примеров научной абстракции, которая на первый взгляд искажает действительность, а на самом деле позволяет делать точнейшие расчёты движения.

Вектор скорости.

Скорость, как и пройденный путь, является вектором. Если тело движется равномерно в каком-то направлении со скоростью v, то можно определить проекции этой скорости на оси координат. Предположим, мотор движет лодку вдоль береговой полосы на восток со скоростью 10 км/ч, а течение сносит её на север со скоростью 5 км/ч (рис. 41). Как будет двигаться лодка в действительности? Будем считать направление на восток осью x, а направление на север осью y. Отложим по этим осям компоненты скоростей, соответственно 10 и 5 км/ч, и построим по этим компонентам вектор так же, как мы это делали в § 13.

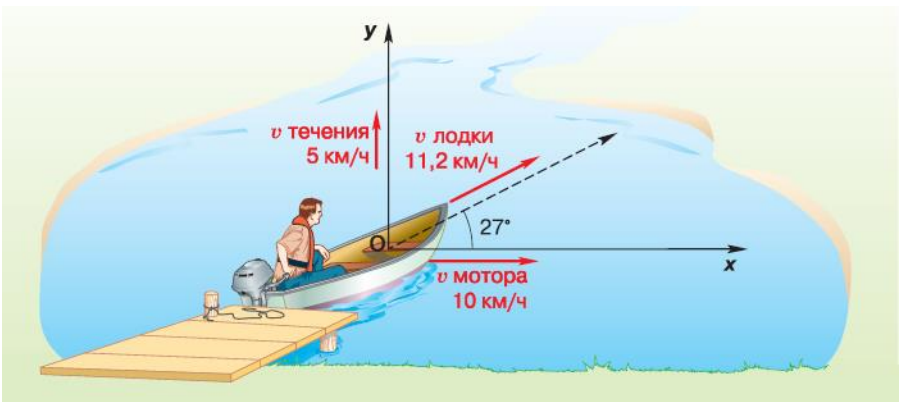


Рис. 41. Как будет двигаться лодка, если мотор направляет её вдоль береговой полосы на восток со скоростью 10 км/ч, а течение сносит на север со скоростью 5 км/ч?

Мы видим, что курс лодки лежит между востоком и северо-востоком, а тангенс угла между этим курсом и направлением на восток равен отношению скорости течения к скорости, развиваемой мотором, т. е. 0,5. Этому тангенсу соответствует угол, равный примерно 27°. Теперь определим скорость, с которой лодка удаляется от пристани, которую мы будем считать точкой отсчёта. Она определяется модулем вектора скорости, который, как мы знаем, находится при помощи теоремы Пифагора. Следовательно, скорость лодки относительно пристани равна квадратному корню из $(10^2 + 5^2)$ или около 11,2 км/ч.

Проверьте свои знания

1. Что такое равномерное движение?
2. Что такое равноускоренное движение?
3. Почему скорость является вектором?
4. Что такое мгновенная скорость?

Задания

1. Повторите опыт Галилея. Пустите шарик катиться вниз по наклонному жёлобу, на который нанесены деления (рис. 42). Пусть один из участников эксперимента отсчитывает секунды, а второй одновременно называет номера отметок, которые пересекает шарик. Измените наклон жёлоба и повторите наблюдение. Теперь толкните шарик так, чтобы он катился вверх по наклонному жёлобу, и замерьте изменение скорости его движения. Результаты нанесите на график.

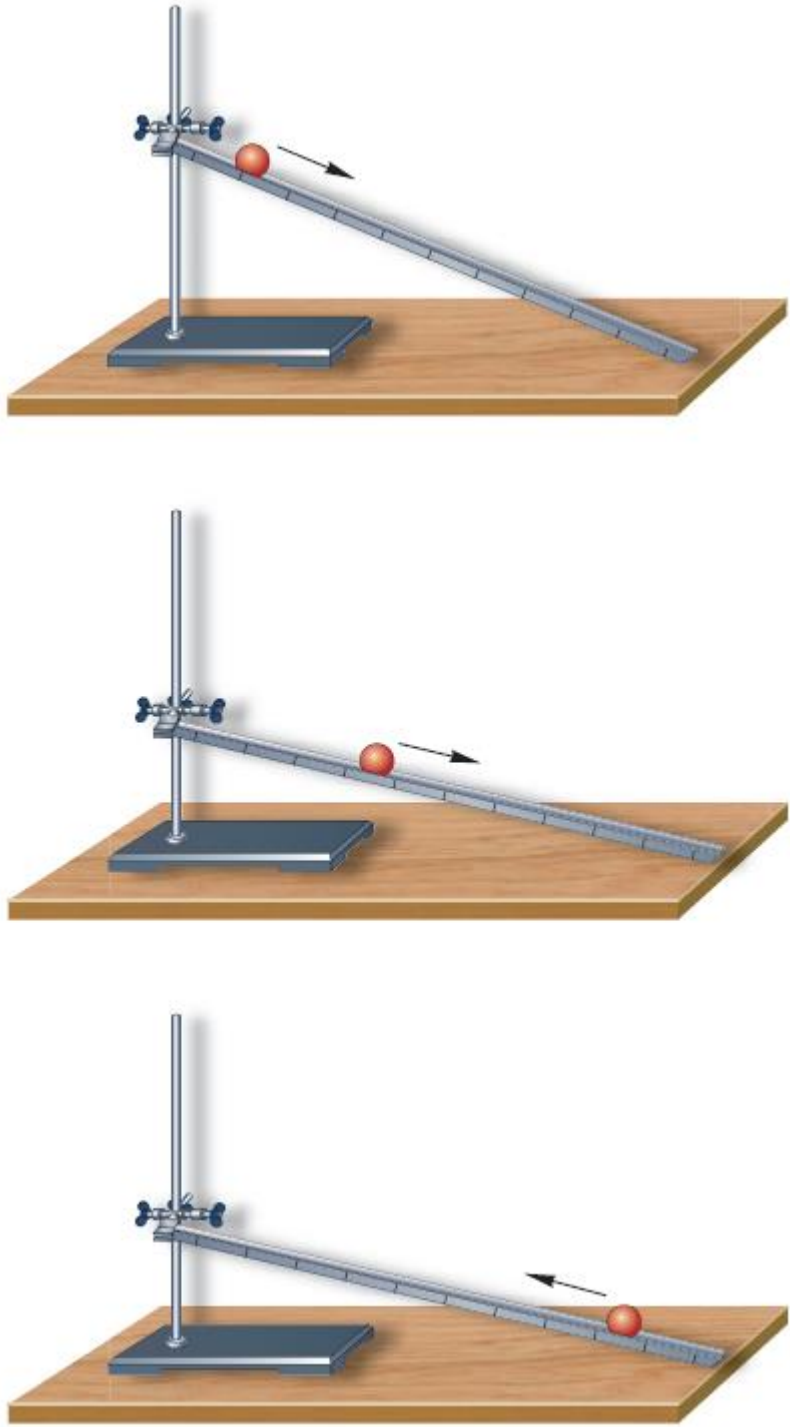


Рис. 42. Воспроизведите опыт Галилея

2. Приведите примеры ситуаций, где может пригодиться

знание о том, что скорость – это вектор.

3. Придумайте задачу на определение траектории движения парашютиста при разной скорости и направлении ветра. Обменяйтесь этими задачами с одноклассниками и решите их.

4. Используя дополнительные источники информации, выясните, каким прибором измеряют мгновенную скорость движения корабля. Движение относительно чего – воды или дна моря – показывает этот прибор?

5. Как с помощью рулетки (дальномера) и секундомера определить мгновенную скорость тела при равномерном движении?

§ 17 Относительное движение

Алиса в недоумении огляделась.

– Что это? – спросила она. – Мы так и остались под этим деревом! Неужели мы не стронулись с места ни на шаг?

– Ну конечно, нет, – ответила Королева. – А чего ты хотела?

– У нас, – сказала Алиса, с трудом переводя дух, – когда долго бежишь со всех ног, непременно попадаешь в другое место.

– Какая медлительная страна! – сказала Королева. – Ну а здесь, знаешь ли, приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте. Если же хочешь попасть в другое место, тогда нужно бежать по меньшей мере вдвое быстрее!

Л. Кэрролл. Алиса в Зазеркалье

Принцип относительности движения Г. Галилея.

Вы, вероятно, заметили, что в предыдущем параграфе при описании движения лодки были упомянуты три различные скорости: лодка движется вдоль берега со скоростью 10 км/ч, уносится от берега течением со скоростью 5 км/ч и удаляется от пристани со скоростью 11,2 км/ч. Какая из этих скоростей настоящая? С какой скоростью движется лодка *на самом деле?* Однозначного ответа на этот вопрос дать нельзя. Дело в том, что, оценивая скорость движения чего-либо, нужно всегда указывать, *в какой системе* она определяется, т. е. *относительно чего* наше тело движется с данной скоростью. В нашем случае лодка движется со скоростью 10 км/ч относительно воды и удаляется от береговой кромки со скоростью 5 км/ч. Если же систему связать с пристанью, то скорость лодки в этой системе будет равна 11,2 км/ч. В этом заключается смысл сформулированного Галилеем ***принципа относительности движения.***

Рассмотрим ещё один пример. Корабль движется параллельно берегу на восток со скоростью 10 км/ч (рис. 43). По палубе от носа к корме, т. е. на запад, со скоростью 4 км/ч идёт человек. Так будет считать он сам, отсчитывая расстояния по предметам, находящимся на корабле, так будут считать и все, кто находится вместе с ним на корабле. А что подумают люди, наблюдающие за ним с берега? Они определят, что он удаляется от них в восточном направлении со скоростью 6 км/ч. Так как же идёт человек: на запад со скоростью 4 км/ч или на восток со скоростью 6 км/ч? На этот вопрос нельзя дать определённого ответа. Можно сказать, что истинной скоростью будет та, которую видят наблюдатели на берегу, ведь они находятся на месте, а корабль движется. Но тогда возникнет вопрос: а откуда вы это знаете? Люди на корабле вправе считать, что они неподвижны, потому что никакими опытами на этом корабле нельзя доказать, что он находится в движении. В этом и заключается принцип относительности движения Галилея:

> *покоящаяся система и система, находящаяся в состоянии равномерного прямолинейного движения, эквивалентны, потому что все механические явления протекают в них одинаково.*

С помощью принципа относительности Галилей опровергал критику своих противников, оспаривающих вращение Земли.

Они утверждали, что если бы Земля вращалась, то это было бы заметно по поведению движущихся по ней предметов. Например, камни, брошенные с башни, падали бы не у её подножия, а где– нибудь в отдалении, поскольку пока они падают, Земля бы успела сдвинуться на некоторое расстояние. В ответ на эти возражения Галилей использовал свой пример с кораблём.

> *«Можно подвесить к потолку ведёрко, из которого вода будет вытекать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Бросая другу какой-нибудь предмет, не придётся бросать его в одну сторону с большей силой, чем в другую, если расстояния будут одни и те же…Заставьте корабль двигаться с любой скоростью, и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту или другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно».*

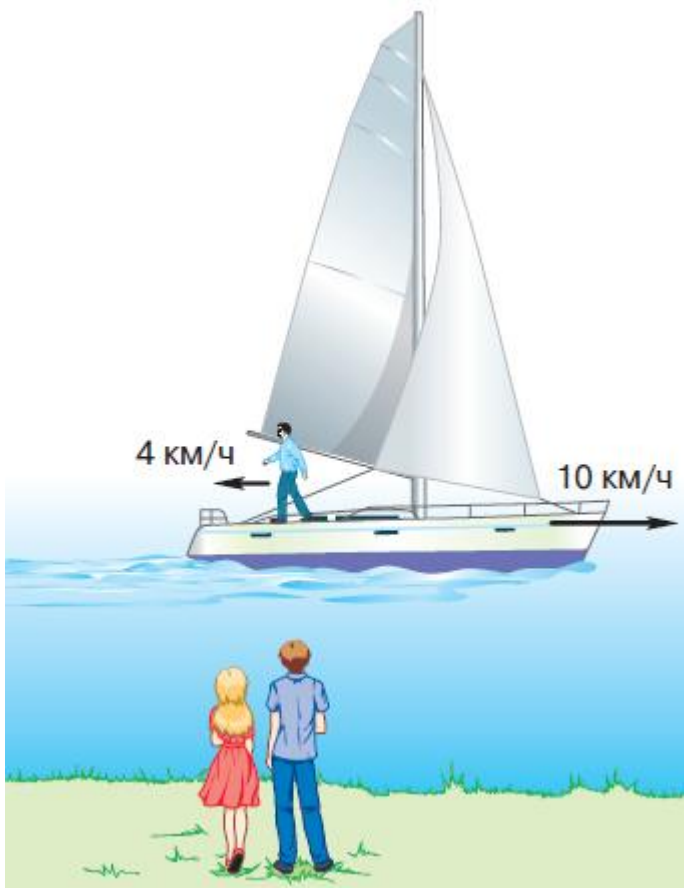


Рис. 43. Как же в итоге идёт человек на корабле – на запад со скоростью 4 км/ч или на восток со скоростью 6 км/ч?

Сам Галилей сформулировал принцип относительности так:

> *«Для предметов, захваченных равномерным движением, это последнее как бы не существует и проявляет своё действие только на вещах, не принимающих в нём участия».*

Инерциальная система

Если система покоится или движется прямолинейно и равномерно, т. е. не изменяет своей скорости и направления движения, то она называется ***инерциальной.*** В ней действует ***закон инерции:***

> *любое тело, на которое не действуют внешние силы,*

находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

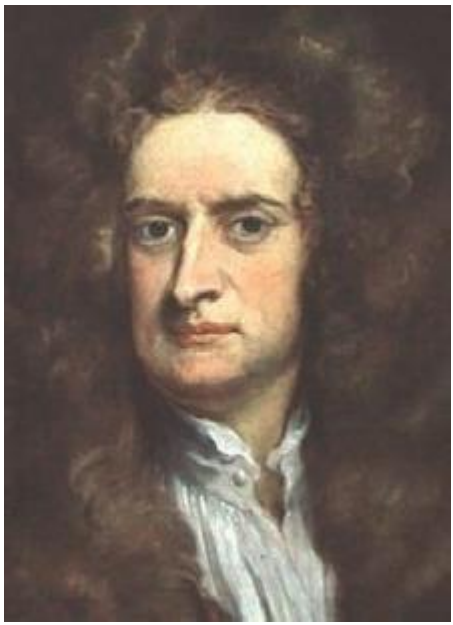


Рис. 44. Исаак Ньютон

Как мы уже знаем, к такому выводу Галилей пришёл путём логических выводов из своих наблюдений. Катая шары по наклонной плоскости, он заметил, что они катятся вниз ускоренно, а вверх – замедленно, из чего заключил, что при горизонтальном движении их скорость изменяться не будет, а следовательно, они будут двигаться бесконечно. Принцип инерции **Исаак Ньютон** (1642–1727) (рис. 44) использовал при создании теоретической механики, и теперь он всем известен под названием первого закона Ньютона (см. § 18). Однако механическое движение практически почти никогда не происходит с постоянной скоростью. Кроме того, в мире что-то постоянно начинает двигаться, что-то сталкивается – одним словом, движение, которое мы реально наблюдаем, всегда неравномерно. Как же объяснить неравномерное движение? На этот вопрос Ньютон ответил, создав теоретические основы динамики.

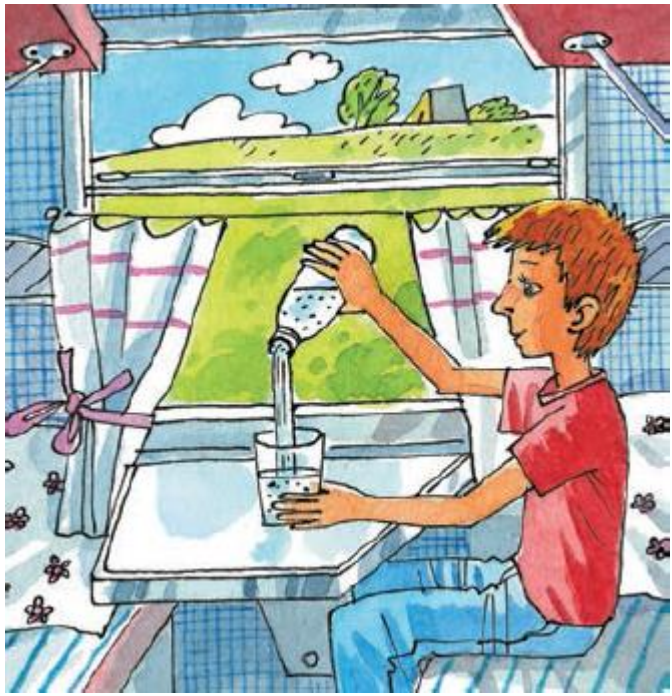


Рис. 45. В равномерно и прямолинейно движущемся поезде струя воды будет падать вертикально

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте принцип относительности движения. Объясните, почему принцип относительности получил такое название.

2. Какие системы называют инерциальными?

3. Объясните, почему равномерное движение практически никогда не встречается в природе.

4. Вслед за Галилеем опровергните аргументы критиков, оспаривающих вращение нашей планеты.

5. Объясните проявление закона инерции, используя рисунок 45.

Рис. 46. Иллюстрация Джона Тенниела к книге Льюиса Кэрролла «Алиса в Зазеркалье»

Задания

Если предположить, что Алиса и Белая Королева находятся на корабле Галилея, то что имеет в виду Королева, когда говорит, что для того, чтобы остаться на месте, надо быстро бежать, а для того, чтобы попасть в другое место, нужно бежать гораздо быстрее (рис. 46)?

§ 18 Сила, масса, ускорение

…Но камень схватил
Диомед многомощный —
Тяжесть великую! Двое его
понести не могли бы
Ныне живущих людей; но
легко им махал и один он.
Камнем таким поразил он
Энея в бедро…

Гомер. Илиада

Первый закон Ньютона

28 апреля 1686 г. стало одной из величайших дат в истории науки. В этот день Ньютон представил Лондонскому королевскому обществу свои «Математические начала натуральной философии». В них были сформулированы основные законы движения и определены такие фундаментальные понятия, как масса и ускорение. В отличие от Галилея, который исследовал механику тел только на поверхности Земли, Ньютон распространил область применения законов механики на всю Вселенную. Механика Ньютона была построена на нескольких постулатах, которые мы теперь называем законами Ньютона. Всего таких законов четыре, из них три упоминаются под номерами, а четвёртый, закон всемирного тяготения, стоит особняком. В качестве ***первого закона*** Ньютон использовал более чётко сформулированный принцип инерции Галилея (Ньютон называл инерцию «врождённой силой»):

> *«Всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».*

Таким образом, вопреки мнению Аристотеля о том, что действующая сила поддерживает постоянную скорость движения, Ньютон утверждал, что сила её *изменяет.* Такое изменение скорости он назвал *ускорением.* Но как зависит ускорение от действующей на предмет силы? По личному опыту мы знаем, что

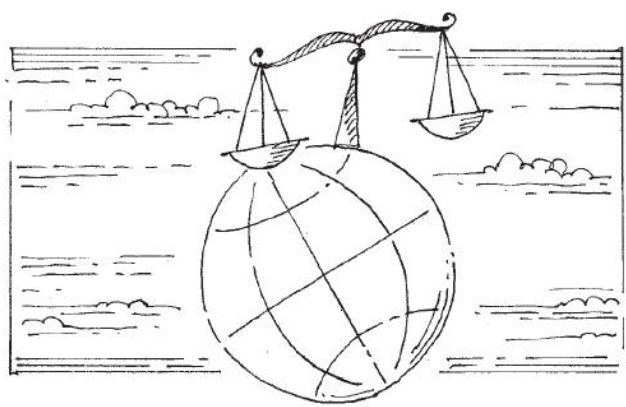
некоторые предметы ускорить легко: для того чтобы заставить их двигаться, много силы не требуется. Другие же сдвинуть с места непросто, иногда это может сделать только очень *сильный* человек, а иногда требуется, чтобы *силу* приложили несколько человек. Для того чтобы объяснить, почему одни предметы ускоряются без усилий, а другие – с трудом, мы говорим, что первые – лёгкие, а вторые – тяжёлые. Теперь требуется перевести эти бытовые понятия на язык науки и придать им строгие значения. Это и сделал Ньютон, введя понятие *массы*. Определение массы содержится на первых страницах «Начал»:

> *«Количество материи есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её».*

Соответственно, плотность – это масса тела, разделённая на его объём. Массу тела иногда путают с его весом, хотя это не одно и то же. Дело в том, что согласно закону всемирного тяготения, на тело действует сила, которая называется силой тяжести. Если такое тело находится на опоре или на чем-либо подвешено, оно оказывает на опору или подвес вызванное силой тяжести воздействие. Величина этого воздействия называется ***весом*** тела. Следует различать силу тяжести, которая приложена к телу, и вес тела, приложенный к опоре или подвесу.

Сила притяжения была одной из первых известных в физике сил, на нее обратил внимание еще Галилей. Однако это далеко не единственная сила, которая действует на земные тела. Ньютон же определяет силу более широко:

> *«…приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения».*



Следовательно, если к телу приложить силу, то его скорость изменится (рис. 47). Быстроту изменения скорости называют ускорением. Ускорение измеряется как отношение изменения скорости за определённый интервал времени к продолжительности этого интервала. Если в течение времени At скорость изменилась на величину Av, то ускорение, обозначаемое обычно буквой *a,* определяется по формуле:

$a = \Delta v/\Delta t.$

Так как в единицах СИ скорость имеет размерность м/с, а время – с, то единицей ускорения будет м/с^2, которая произносится «метр в секунду за секунду».

Рис. 47. Скульптура «Дискобол» греческого скульптора Мирона (копия) (Ботанический сад Копенгагена)

Второй закон Ньютона.

Теперь мы понимаем, что сила, масса и ускорение связаны между собой.

Чем большую силу мы прикладываем, тем с большим ускорением движется тело, однако это ускорение будет тем

меньше, чем больше масса этого тела, т. е. чем оно «тяжелее» (рис. 48). Как связать эти величины? Это сделал Ньютон в своём ***втором законе*** с помощью очень простой формулировки, которая выражается также очень простым уравнением:

> *«Ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе».*

Если обозначить ускорение, как мы делали, через *a,* массу – через *m,* а силу через F, то уравнение второго закона Ньютона будет иметь такой вид:

$a = F/m$.

Это уравнение можно представить в таком виде: *сила равна произведению массы тела на его ускорение.* Из этого следует, что размерность силы в единицах СИ будет кг м/с^2. Эту единицу измерения называют ***ньютон.***

Теперь мы можем более точно определить понятие массы. Поскольку при одной и той же силе ускорение оказывается тем меньше, чем больше масса, то можно считать, что масса определяет степень сопротивления действующей силе. Чем больше масса, тем труднее вывести тело из состояния покоя или изменить скорость его движения, т. е. тем больше ***инертность*** этого тела. Поэтому массу в таком понимании называют *мерой инертности* или *инертной массой.* Вскоре мы узнаем, что существует и другое понимание массы.

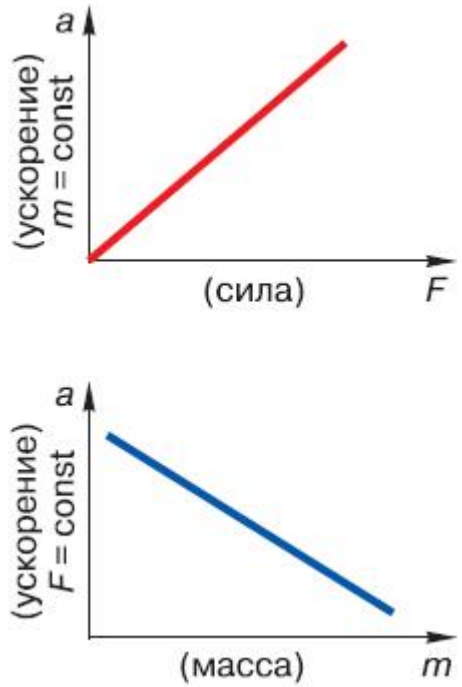


Рис. 48. Графики зависимости ускорения от силы и массы

Так же как и скорость, сила и ускорение являются векторными величинами, т. е. имеют не только абсолютную величину, но и направление. Ведь одну и ту же силу можно прилагать и справа, и слева, и снизу. То же относится к ускорению: оно может иметь разные направления. Поэтому если записать второй закон в векторной форме, учитывающей направления, то он будет утверждать, что сила не только вызывает ускорение, но и то, что это ускорение происходит в том же направлении, в котором эта сила действует. А если на тело действует сразу несколько сил? В этом случае надо применить уже известное вам правило сложения векторов и получить их векторную сумму, которую называют ***равнодействующей.*** Именно пропорционально ей и будет ускорение тела.

Если сила действует в направлении, противоположном движению, то ускорение становится отрицательным. Отрицательное ускорение означает, что скорость движения тела снижается, т. е. происходит ***замедленное движение.*** Примером замедленного движения является постепенная остановка любого тела, которая происходит рано или поздно, казалось бы, вопреки закону инерции. Замедление движения происходит потому, что на движущееся тело действует сила трения или сопротивления среды, направление которой противоположно направлению

движения. Эта сила и создаёт отрицательное ускорение, благодаря которому скорость постепенно снижается вплоть до нулевого значения.

Если равнодействующая всех приложенных к телу сил равна нулю, то и ускорение будет равно нулю. Это равносильно тому, как если бы на это тело не действовала вообще никакая сила. Наверное каждый из вас когда-нибудь участвовал в такой забаве, как перетягивание каната. В какой-то момент канат не перемещался, и его флажок, отмечающий середину, не сдвигался ни вправо, ни влево. В результате, хотя ребята с разных концов каната и прикладывали немалые силы, равнодействующая этих сил была равна нулю и соответственно нулевым было ускорение, в результате чего канат сохранял состояние покоя.

Система, где равнодействующая всех сил равна нулю, является инерциальной, т. е. все механические процессы в ней будут происходить точно так же, как в системе, которая покоится. Поэтому утверждение Ньютона о том, что тело не изменяет скорости в том случае, если оно не принуждается к тому внешними силами, следует понимать так: *тело сохраняет состояние покоя или равномерного движения, если на него не действуют силы или их равнодействующая равна нулю.*

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте первый закон Ньютона.

2. Напишите формулу второго закона Ньютона. Что обозначают буквы в этом уравнении? Как можно трансформировать эту формулу?

3. Чем отличается масса тела от его веса?

4. Объясните, почему массу считают мерой инерции.

5. Что такое равнодействующая сил? Изобразите это на рисунке.

Задания

1. Подвесьте металлический предмет к динамометру. Когда шарик достигнет нижнего положения, измерьте показания динамометра. Теперь опустите предмет в воду и проделайте то же измерение. Используя сведения из § 3, объясните различие в показаниях динамометра.

2. По дороге прямолинейно с постоянной скоростью в течение продолжительного времени движется автомобиль. Можно

ли считать, что он движется по инерции?

3. Объясните сущность второго закона Ньютона людям, незнакомым с основами физики, используя рисунок 47. (Допустите, что дискобол на соревнованиях мог использовать диски разной массы и прикладывать разную силу в момент броска.)

4. Объясните, почему на шарже, изображённом на с. 82, чаша весов над полюсом перевешивает чашу весов, расположенную в районе экватора.

5. Вспомните, какие ещё вам известны законы, имеющие нумерацию (первый, второй и т. д.).

§ 19 Закон всемирного тяготения

Когда однажды, в думу погружён,
Увидел Ньютон яблока паденье,
Он вывел притяжения закон
Из этого простого наблюденья.
Впервые от Адамовых времён
О яблоке разумное сужденье
С паденьем и с законом тайных сил
Ум смертного логично согласил.

Дж. Байрон. Дон Жуан

Один Ньютон – это сила, с которой одно яблоко падает на одну голову с высоты одного метра.

Студенческий анекдот

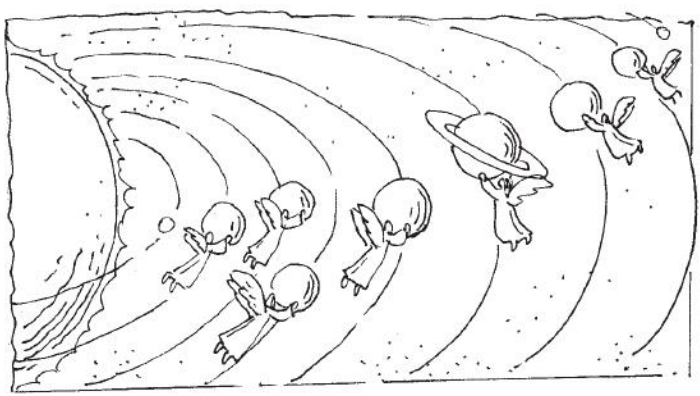
Открытие математических законов движения принесло Ньютону неслыханную славу и восхищение, которых при жизни не удостаивался ни один учёный. Особенно велика была его популярность у него на родине, в Англии, где Ньютона провозгласили «новым Моисеем», которому Бог открыл свои сокровенные законы. Его современник, английский поэт А. Поуп, писал:

Кромешной тьмой был мир окутан,
И в тайны естества наш взор не проникал,
Но Бог сказал: «Да будет Ньютон!»
И свет над миром воссиял.

Самое сильное впечатление на современников произвела третья книга ньютоновских «Начал», где был сформулирован ***закон всемирного тяготения.*** Этот закон называли «величайшим обобщением, достигнутым человеческим разумом». По

распространённой легенде, идея этого закона пришла к Ньютону в тот момент, когда он увидел падающее с дерева яблоко. Родственники и друзья Ньютона уверяли, что слышали эту историю от него самого.

«Плод яблони со древа упадает: Закон небес постигнул человек», – писал русский поэт Е. А. Баратынский. Но даже если это действительно было так, вряд ли одного яблока было достаточно для открытия великого закона природы. Мысль о существовании тяготения высказывалась ещё в Древней Греции. Её обсуждали в Европе в эпоху Возрождения. Многие считали, что приливы и отливы связаны с притяжением Луны и Солнца, и проводили аналогию с притяжением магнита и электрических зарядов. Особенно окрепло это мнение после открытия Коперника. Однако точную формулировку для описания этого явления удалось найти только Ньютону.



Гравитация

Ньютон исходил из открытых немецким математиком и астрономом **Иоганном Кеплером** (1571–1630) закономерностей движения планет по орбитам, о которых вы узнаете позже. Перед современниками Ньютона стоял вопрос: что заставляет планеты двигаться вокруг Солнца? Некоторые люди считали, что позади планет стоят ангелы, машут крыльями и толкают их по орбитам. Нобелевский лауреат Р. Фейнман утверждал, что этот ответ не так уж неверен. «С той только разницей, что «ангелы» сидят в другом месте и толкают планету к Солнцу».

Ньютону оставалось объединить результаты, полученные Галилеем и Кеплером. Он рассуждал так: если на тело не действует сила, оно, согласно принципу инерции, должно двигаться по прямой, а поскольку планеты вращаются по

замкнутым орбитам, имеющим форму эллипса, т. е. искривляют свою траекторию, то, следовательно, на них действует какая-то сила. И, скорее всего, эта сила исходит от Солнца. Ньютону удалось доказать, что законы Кеплера вытекают из того предположения, что все изменения в скорости объясняются тем, что действующая на планеты сила направлена прямо к Солнцу. Зная, как период обращения разных планет зависит от расстояния до Солнца, можно определить, как эта сила меняется в зависимости от этого расстояния. И Ньютон нашёл, что она обратно пропорциональна квадрату расстояния.

Теперь требовалось придать этим выводам общий характер. Известно, что Луна вращается вокруг Земли приблизительно таким же образом, как и Земля вокруг Солнца. Значит, логично предположить, что Земля притягивает Луну так же, как Солнце притягивает планеты. Известно также, что Земля вообще притягивает все предметы, находящиеся на ней, и Ньютон предположил, что Луну на орбите удерживает та же сила, которая притягивает предметы, например яблоки, к Земле. Это предположение надо было подтвердить точными расчётами, и Ньютон сделал это, сравнив скорость движения Луны по околоземной орбите с ускорением падающих у поверхности Земли предметов, которое было известно ещё Галилею. Оказалось, что сила, с которой Земля притягивает Луну и яблоки, в точности обратно пропорциональна квадрату расстояния от Луны или от яблока до центра Земли. Эта сила называется ***гравитационной силой.***

Гравитационная постоянная.

Ньютон также установил, что сила притяжения зависит от масс взаимодействующих между собой тел, а именно пропорциональна их произведению. Таким образом, сформулированный Ньютоном закон имел такое математическое выражение:

$F \sim M\,m\,/\,R^2$

где M и m – массы взаимодействующих тел, а R – расстояние между ними. Что именно представляет собой эта пропорциональность и каким коэффициентом она выражается, удалось выяснить позже. Найденный коэффициент назвали ***гравитационной постоянной*** и обозначили буквой G. Таким образом, современная формула закона всемирного тяготения имеет вид:

$F = G \cdot M\,m\,/\,R^2$

Установить численное значение гравитационной постоянной удалось благодаря опытам Генри Кавендиша, проведённым в 1798 г. с помощью прибора (рис. 49). Он подвесил на очень тонкой кварцевой нити стержень с двумя шарами, а затем поднёс к ним сбоку два больших свинцовых шара. Притяжение этих шаров чуть-чуть перекрутило нить, и по степени закручивания можно было измерить силу этого притяжения. Затем, зная эту силу, а также массу шаров и расстояние между ними, можно было вычислить гравитационную постоянную, а зная эту величину, можно было вычислить массу Земли. Поэтому Кавендиш назвал свой эксперимент «взвешиванием Земли», хотя, зная значение гравитационной постоянной, можно «взвесить», т. е. определить, также массу Солнца, Луны, планет и всего остального.

Ускорение свободного падения.

А теперь обратим внимание на одно интересное обстоятельство. Определим, с какой силой притягивается к Земле тело, находящееся вблизи её поверхности. Будем считать, что в уравнении закона всемирного тяготения M – масса Земли, m – масса притягиваемого тела, а R – расстояние от этого тела до центра Земли[7]. Так как расстояние от центра Земли до её поверхности составляет 6,3 тыс. км, высотой предмета над поверхностью Земли в десятки или сотни метров можно пренебречь. Масса Земли, естественно, для всех предметов одинакова, значит, сила притяжения пропорциональна массе самого тела.

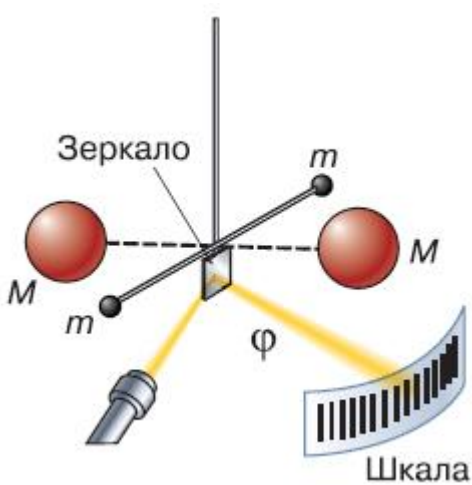


Рис. 49. Крутильные весы Генри Кавендиша

Но одним из главных открытий Галилея считается доказательство того, что ускорение падающих предметов, которое называют ***ускорением свободного падения,*** всегда одинаково и не зависит от их массы. Как же это может быть? Вычислим ускорение свободного падения, используя второй закон Ньютона и закон всемирного тяготения. Первый утверждает, что ускорение равно действующей силе, делённой на массу тела, а из последнего следует, что эта сила прямо пропорциональна его массе. Таким образом, масса оказывается и в числителе, и в знаменателе уравнения. Сократив её, мы получаем: $a = GM/R^2$,т. е. масса предмета в эту формулу уже не входит, а значит, и не влияет на ускорение, которое зависит только от массы Земли и расстояния до её центра. Масса Земли всегда одинакова, а расстояние в разных частях планеты немного различается, так как Земля, как известно, сплющена с полюсов. Поэтому вблизи экватора притяжение Земли, а следовательно, ускорение свободного падения, а вместе с ним и вес тела немного меньше, чем вблизи полюса. Так что, если купить золото, скажем, в Эквадоре, а продать по той же цене в Исландии, то можно немного заработать. В среднем ускорение свободного падения равно приблизительно 9,8 м/с^2, а для неточных практических расчётов можно принять его за 10 м/с^2.

Масса: гравитационная и инертная.

Итак, мы сократили массы в уравнении закона тяготения и получили, что ускорение не зависит от массы притягиваемого предмета. Вроде бы всё правильно, но давайте подумаем, что же именно мы сократили. Та масса, которая была в числителе, определяет силу притяжения между телами, она называется ***гравитационной массой.*** Та же масса, что была в знаменателе, измеряет сопротивление действующей силе и называется, как нам уже известно, ***инертной массой.*** Что между ними общего? Долгое время считали, что единственное, что их объединяет, – это их неизменное совпадение. Одна масса всегда равна другой. Поэтому, говоря о массе, обычно не поясняли, какая именно имеется в виду. Масса всегда оставалась массой. Причину этого странного совпадения объяснил только в прошлом веке Альберт Эйнштейн в своей общей теории относительности.

Сила притяжения между телами, зависящая от их массы, очень слаба по сравнению с другими существующими в природе силами, например с электромагнитными. Однако, она присуща

всем без исключения телам и распространяется на бесконечные расстояния (на очень больших расстояниях её значение практически можно считать равным нулю), и её роль во Вселенной весьма велика. Но какова природа гравитации? Откуда она берётся? Ответ на этот вопрос содержится в той же общей теории относительности. А в классической физике просто утверждается, что вокруг любого объекта, обладающего массой, существует поле притяжения, или ***гравитационное поле,*** сила которого убывает пропорционально квадрату расстояния. Это поле обладает свойством притягивать другие объекты, имеющие массу. В дальнейшем мы расскажем об этом подробнее.

Проверьте свои знания

1. Как изменяется ускорение свободного падения в зависимости от географической широты?

2. От чего зависит сила гравитационного поля?

3. Как изменится сила гравитационного притяжения, если обе взаимодействующие массы возрастут в три раза?

4. Чем различаются инерционная и гравитационная массы?

Задания

Известно, что приливы и отливы связаны с притяжением воды Луной и Солнцем. Попробуйте на основании возможных взаимных расположений этих светил определить, почему приливы сменяются отливами.

§ 20 Третий закон Ньютона. Импульс и его сохранение

[Святогор хочет поднять «суму перемётную», но не может её оторвать от земли].
Он берёт сумочку да одной рукой —
Эта сумочка да не сшевелится,
Как берёт он обема рукам,
Принатужился он силой богатырской,
По колен ушёл да в мать сыру землю…
[Оказывается, в сумочке – «тягость матушки сырой земли». Вот с чем пробовал состязаться богатырь – с земной мощью великой!]

Из былины о богатыре Святогоре (рис. 50)

Мы знаем, что основой механики Ньютона является представление о силе. С помощью этой физической величины можно в принципе рассчитывать любые виды движения.

Рис. 50. Святогор – богатырь русского былинного эпоса, великан «выше леса стоячего», которого с трудом носит мать сыра земля. Однажды, чувствуя в себе колоссальные силы, он похвалился, что если б было кольцо в небе, а другое в земле, то он перевернул бы небо и землю

Говоря о силах, Ньютон определил главным образом две вещи. Он сформулировал закон для сил тяготения и нашёл общее свойство всех сил, которое сформулировано в его ***третьем законе.*** Этот закон гласит:

«Сила действия равна силе противодействия».

Это значит, что если тело *A* действует на тело *B* с какой-либо силой, то и тело *B* действует на тело *A* с силой, которая равна ей по модулю, но противоположна по направлению. Если один предмет притягивает или толкает другой с какой-то силой, то второй с такой же силой притягивает или толкает его в обратном направлении. Любой предмет, находящийся на поверхности Земли, давит на неё с той же силой, с какой она давит на него.

Третий закон часто встречает непонимание. Неужели, если я беру в руку лист бумаги и легко его поднимаю, то он действует на меня с такой же силой, с какой я на него? Как может Земля притягивать к себе яблоко с той же силой, с которой яблоко притягивает земной шар? Сила действия и сила противодействия приложены к разным телам, и каждое из них реагирует на эти силы в соответствии со своей массой. Поскольку масса бумажного листа несоизмеримо меньше массы нашего тела, мы практически

не получаем при таком контакте ускорения и не замечаем усилия, необходимого для того, чтобы поднять бумагу, так же как «не замечает» его Земля, когда на неё падает яблоко. А для листа бумаги или яблока такая сила весьма существенна, так как в силу своей малой массы они начинают двигаться с большим ускорением.

Импульс

Познакомимся ещё с одной физической величиной, имеющей большое значение для изучения движения. Эта величина называется ***импульсом*** и представляет собой произведение массы тела на его скорость. Иначе его называют *количеством движения,* так как если два предмета движутся с одной и той же скоростью, то движение более тяжёлого представляется более «существенным». Нетрудно догадаться, что изменение импульса за единицу времени будет равно силе, действующей на тело, потому что сила – это произведение массы на ускорение, а ускорение – это изменение скорости за единицу времени. Если обозначить импульс буквой *p,* его изменение – величиной Δp, а изменение скорости как Δυ, то мы получим:

$\Delta p/t = m\,\Delta v/t = ma = F.$

Отсюда следует, что изменение импульса можно выразить так же, как произведение силы на время, в течение которого она действует: чем дольше действует сила, тем больше становится скорость, а следовательно, и импульс. Если мы учтём, что масса при этом не меняется, то $\Delta p = Ft.$ А это значит, что $\Delta p/t = F,$ т. е. *изменение импульса тела за единицу времени равно действующей на это тело силе.*

Закон сохранения импульса.

Теперь посмотрим, какие выводы можно сделать из третьего закона. Допустим, что у нас взаимодействуют два тела, масса которых может быть различна. Мы знаем, что силы, с которыми они действуют друг на друга, одинаковы по абсолютной величине и противоположны по направлению. Следовательно, изменения их импульсов также будут равны по величине и противоположны по направлению. Но тогда, если мы сложим эти изменения импульсов, взяв их с противоположными знаками, то их сумма будет равна нулю. Значит, если на наши тела не действуют никакие внешние силы, то *изменение суммы их импульсов всегда*

будет равно нулю, т. е. суммарный импульс не будет изменяться. Это важное положение называют ***законом сохранения импульса.***

Если рассмотреть систему, которая состоит не из двух, а из большего числа частиц, то этот закон не потеряет своего значения. Если на систему не действуют внешние силы, то суммарный импульс всех частиц остаётся постоянным, поскольку увеличение импульса одной частицы под воздействием другой частицы в точности компенсируется уменьшением импульса этой второй частицы под воздействием первой. Таким образом, если нет сил, действующих на систему извне (внешних сил), то импульс измениться не может, он всегда остаётся постоянным. Закон сохранения импульса справедлив для всех, даже самых сложных, систем.

Зная закон сохранения импульса, легко рассчитывать последствия всякого рода взаимодействий и столкновений тел. Предположим, навстречу друг другу катятся два шара, один с массой *M*, а другой – с массой *m*, причём первая больше второй. Пусть первый имеет скорость *v,* а второй – скорость v_2. Предположим, что тело с большей массой движется на восток, а тело с меньшей – на запад. Условимся считать, что скорость, направленная на восток, имеет знак *«+»*, а скорость, направленная на запад, – знак *«-»*. Тогда скорость первого тела будет записываться как *«+*v_1*»*, а скорость второго – как *«-*v_2*»*. В какой-то момент они столкнулись и слиплись. В результате этого образовалось одно тело с массой $M + m$. Куда и с какой скоростью оно будет двигаться дальше? Импульс p_1 первого тела равен Mv_1, *а* импульс p_2 второго равен $(-mv_2)$, а их суммарный импульс:

$Mv_1 – mv_2$.

Значит, скорость, с которой будет двигаться объединённое тело, будет равна:

$Mv_1 – mv_2 / M + m$.

Направление этой скорости будет зависеть от того, импульс какого тела был больше до столкновения. Поясним это на таком фантастическом примере.

Идёт война. Одно войско осадило крепость, второе – в ней обороняется. Осаждающие вооружены мобильными пушками с ядрами, имеющими массу 10 кг и вылетающими со скоростью 300 м/с. В крепости установлены более массивные, но менее мощные орудия, выпускающие тяжёлые 15-килограммовые ядра со скоростью всего 100 м/с. И вот два ядра сталкиваются в полёте в тот момент, когда они строго по прямой линии летели навстречу друг другу. Вычислим, что произойдёт после столкновения. Импульс ядра осаждавших составлял 3000 кг м/с, а

импульс ядра защитников крепости с учётом того, что его скорость направлена в обратную сторону, – 1500 кг • м/с. Представим чисто гипотетически, что ядра после столкновения по каким-либо причинам слиплись, их общий импульс стал 1500 кг • м/с, а масса – 25 кг. Скорость, с которой после столкновения полетит объединённое ядро, будет равна 1500 кг • м/с / 25 кг, что составляет 60 м/с. Эта скорость имеет знак «+», а это означает, что объединённое ядро будет продолжать лететь в сторону крепости, хотя и с гораздо меньшей скоростью, чем первоначальное ядро осаждавших.

Такое столкновение, при котором происходит слипание взаимодействующих тел, называется ***неупругим.*** Часто встречается и ***упругое*** столкновение, после которого столкнувшиеся предметы разлетаются в обратных направлениях. Типичным примером упругого столкновения служит поведение биллиардных шаров. При таком столкновении закон сохранения импульса не нарушается, так как изменение импульсов противоположно по знаку и равно по абсолютной величине, а следовательно, суммарное их изменение равно нулю.

Реактивное движение.

Сохранение импульса лежит в основе реактивного движения, примером которого является всё та же стрельба из пушек. Когда ядро весом 10 кг находилось в пушке осаждавших, общий импульс ядра и пушки был равен нулю. Таким же он и остался после выстрела. Но ядро вылетело со скоростью 300 м/с и приобрело импульс, равный, как мы уже знаем, 3000 кг м/с. Для того чтобы суммарный импульс остался равным нулю, пушка должна приобрести точно такой же импульс, только с противоположным знаком.

Рис. 51. Реактивное движение в технике и живой природе

Если масса пушки равна, допустим, 300 кг, она при выстреле откатится назад со скоростью 10 м/с. Это явление по отношению к пушкам называют откатом, а в случае более лёгкого ручного оружия – отдачей.

Реактивное движение в настоящее время используется во множестве технических устройств: от приспособлений для поливки газонов до космических ракет. Мы уже говорили об описанном Героном эолипиле, который вращался под действием реактивной силы пара, вырывающегося из трубок. В 1750 г. венгерский учёный Я. А. Сегнер изобрёл колесо, которое до сих пор так и называется «сегнеровым колесом» (рис. 51). Оно состоит из вертикальной трубы, по которой вода поступает в горизонтальную трубу, концы которой загнуты в разные стороны. Вытекающая из отогнутых трубок вода вызывает реактивное вращение горизонтальной трубы. Несмотря на то, что само по себе это устройство большого практического значения не имеет, оно послужило прообразом для создания гидравлических турбин, которые в настоящее время работают на гидроэлектростанциях.

Хотя реактивное движение известно людям с древности, его

широкое практическое применение началось в XX в., когда появились ракеты. Ракета представляет собой сосуд, в задней части которого расположено отверстие, называемое соплом. Внутри ракеты находится топливо – вещество, способное сгорать с выделением большого количества газов. При сгорании газы с большой скоростью вырываются из сопла, а так как общий импульс при этом измениться не может, ракета движется вперёд со скоростью, которую можно рассчитать с помощью закона сохранения импульса.

В начале XX в. русский учёный **Константин Эдуардович Циолковский** (1875–1935) предложил использовать реактивное движение для полётов в космическом пространстве. Существовавшие в то время летательные аппараты, такие как дирижабли и самолёты, для этой цели не годились, так как их движение основано на давлении воздуха и неосуществимо в безвоздушном пространстве. В дальнейшем идеи Циолковского были использованы для конструирования сначала реактивных самолётов, а затем и ракет, выводящих на орбиту искусственные спутники и космические станции и даже совершающих полёты на Луну и планеты Солнечной системы.

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте третий закон Ньютона.

2. Что такое упругое и неупругое столкновения?

3. Как выразить изменение импульса через действующую силу и время её действия?

4. Объясните принцип работы реактивных двигателей. Почему в безвоздушном пространстве нельзя использовать такие летательные аппараты, как самолёты и дирижабли?

5. Где в растительном и животном мире встречается реактивный способ движения?

Задания

1. Прочитайте эпиграф к § 20. Почему Святогор, пытаясь поднять суму, содержащую «тягу земную», увяз по колена в землю?

2. Два вагона движутся навстречу друг другу. Масса одного вагона – 50 т, а его скорость – 40 км/ч. У другого вагона масса – 30 т, а скорость – 80 км/ч. Происходит неупругое столкновение, и вагоны продолжают совместное движение. В каком направлении и

с какой скоростью они движутся?

§ 21 Криволинейное вращательное движение

И опустил Давид руку свою в сумку, и взял оттуда камень, и бросил из пращи, и поразил Филистимлянина в лоб, так что камень вонзился в лоб его, и он упал лицем на землю.

Первая книга Царств, 17:49 (рис. 52)

Все, о чём говорилось до сих пор, мы рассматривали на примере прямолинейного движения. Скорость могла оставаться постоянной при равномерном движении или меняться вдоль направления движения при ускоренном. Но далеко не все движения осуществляются вдоль прямой линии, существуют и *криволинейные движения.* Наиболее распространённый тип такого движения – это движение по замкнутой линии. По таким линиям движется Земля, все другие планеты и их спутники.

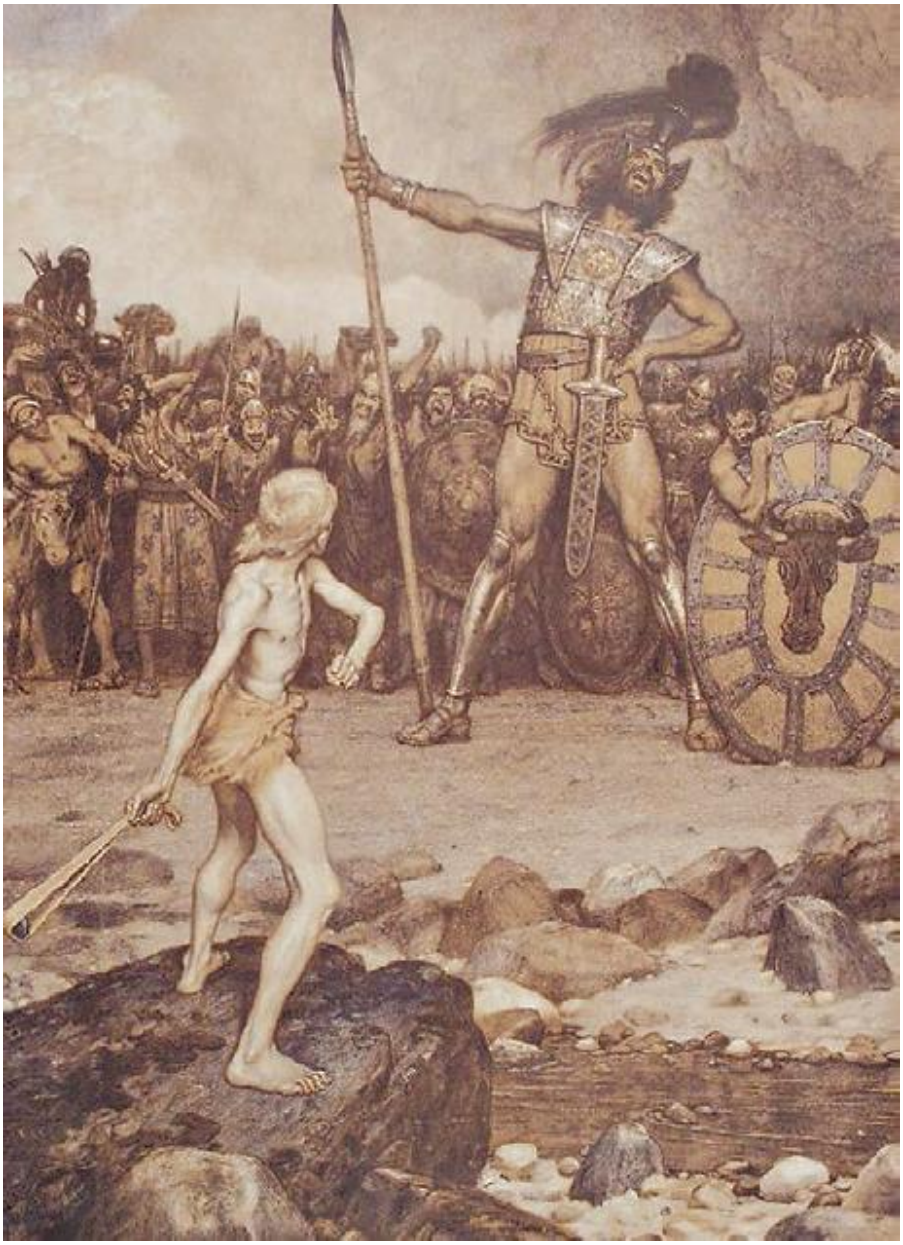


Рис. 52. Давид и Голиаф

Самым распространённым из движений по замкнутой линии является круговое *вращательное движение,* когда траектория движения тела представляет собой окружность. Вращательное движение лежит в основе работы электродвигателей и турбин, его совершают колёса автомобилей, поездов и велосипедов. Словом, представить себе нашу жизнь без вращательного движения невозможно.

Вращательное движение.

Познакомимся с физическими основами вращательного движения. Мы знаем, что, если на тело не действуют никакие силы, оно движется в одном направлении и с постоянной скоростью.

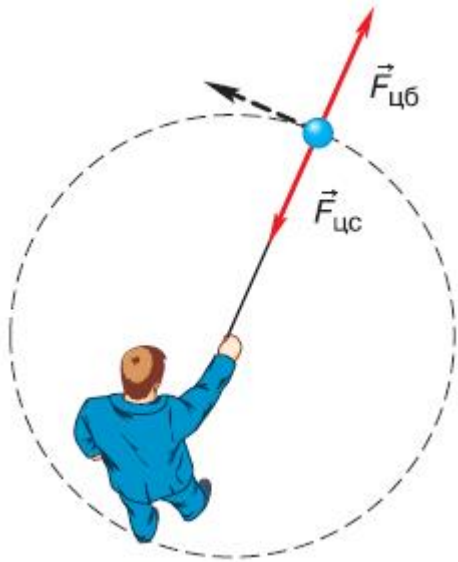


Рис. 53. Центробежная и центростремительная силы

Если бы трения и других видов сопротивления среды не существовало, такое движение продолжалось бы бесконечно. Для того чтобы изменить траекторию движения, на тело должна подействовать сила, причём направление этой силы не должно совпадать с направлением движения, иначе это будет просто ускоренное движение по прямой линии. Если сила часто меняет своё направление и абсолютную величину, мы будем наблюдать сложное извилистое движение с постоянно меняющейся скоростью. А в том случае, когда направление и абсолютная величина силы всегда остаётся постоянной, мы получим круговое движение.

Что это за сила? Проще всего почувствовать её, если привязать нитку к какому-либо грузику и начать вертеть его вокруг себя, например над головой (рис. 53). Как только грузик начнёт равномерно вращаться, вы почувствуете, что нитка натянулась. Это произошло потому, что вначале вы толкнули грузик, он получил некоторую начальную скорость и в соответствии с законом инерции продолжает двигаться в том же

направлении. Но нитка не даёт ему улететь далеко. Двигаясь по инерции, грузик натягивает нитку, а та, согласно третьему закону, с той же силой тянет его обратно. Сила натяжения нити, действующая на грузик, всегда направлена в одну точку, т. е. в данном случае к вашей руке. Она называется ***центростремительной.*** Сила, действующая на нить и, следовательно, на вашу руку, в соответствии с третьим законом равна центростремительной по модулю и противоположна ей по направлению. Её называют ***центробежной.***

Движение по окружности может продолжаться только до тех пор, пока действует центростремительная сила. Если нить оборвётся, привязанный к ней груз тут же начнёт двигаться по прямой в том направлении, в каком он двигался в момент обрыва, т. е. по касательной к прежней его траектории. Но если вращательное движение происходит только при наличии силы, вращающаяся система не может считаться инерциальной. Если одно тело вращается вокруг другого, то уже нельзя сказать, как при равномерном движении, что они равноправны. На это обращал внимание ещё Ньютон, когда говорил об относительном и абсолютном движении. Его знаменитый пример выглядит так. Подвесим ведро с водой на верёвке, закрутим эту верёвку и дадим ей свободно раскручиваться. Ведро будет вращаться. Можно ли считать, что на самом деле ведро покоится, а вращаются все окружающие его предметы? Очевидно, нет, так как мы увидим, что вода в ведре поднялась по краям и опустилась в центре. Ничего подобного вокруг не происходит, и это показывает, что вращение ведра является абсолютным. Вообще говоря, любая система, на которую действует сила, инерциальной не является. В этом легко убедиться во время движения на любом виде транспорта. Пока поезд или автобус движутся равномерно, в них, можно без труда передвигаться, все вещи остаются на местах и т. д. Но во время разгона или торможения ситуация меняется, и вы уже не можете сказать, что люди и предметы на улице ведут себя точно так же, как и в вашем транспортном средстве. Точно так же никакая система, движущаяся по кривой линии, не может считаться инерциальной, потому что, для того чтобы движение было криволинейным, на него должны действовать силы.

Скорость: линейная и угловая.

Для того чтобы точно охарактеризовать вращательное движение, используют специальные физические величины. Такое движение обладает линейной и угловой скоростью. ***Линейной***

скоростью называют мгновенную скорость, направленную по касательной к траектории движения (рис. 54). Она постоянно меняется по направлению, оставаясь постоянной по модулю. Фактически это и есть скорость, с которой тело вращается. Если радиус окружности, по которой происходит движение, равен R см, то длина окружности $2\pi R$ см. В том случае, когда оборот совершается за t, линейная скорость равна $2\pi R/t$ см/с. С такой же скоростью тело будет продолжать двигаться по инерции, если центростремительная сила вдруг перестанет действовать, как это случается при обрыве нити. Это та скорость, с которой летит камень, выброшенный из пращи, когда его сначала раскручивают, а потом внезапно отпускают (см. рис. 52).

Угловой скоростью называют угол, на который поворачивается точка в единицу времени. Единицей угла в СИ является радиан, а угловая скорость измеряется величиной рад/с. Как известно, полный угол равен 2π радиан. Если полный оборот совершается за t секунд, то угловая скорость равна $2\pi/t$ рад/с. Ясно, что отношение линейной скорости к угловой равно радиусу окружности, по которой происходит движение.

Если мы будем наблюдать за вращающимся диском, то заметим, что угловые скорости всех его точек одинаковы, в то время как линейные тем больше, чем дальше точка находится от центра (см. рис. 54).

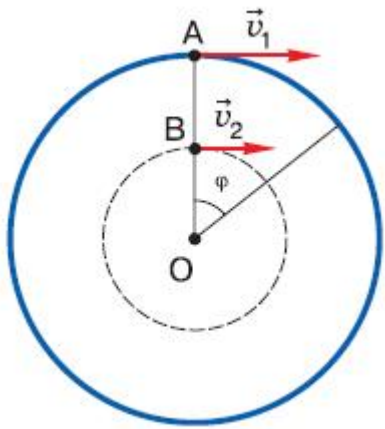


Рис. 54. Линейные скорости

В быту и технике для измерения скорости часто применяются единицы, не входящие в СИ, такие как «оборот в секунду» или даже «оборот в минуту».

По замкнутым орбитам вращаются планеты вокруг Солнца и их спутники вокруг самих планет. Правда, их орбиты являются не

окружностями, а эллипсами, но общие принципы движения от этого не меняются. Мы знаем, что для замкнутого движения необходима центростремительная сила, постоянно направленная к одной точке.

В случае вращения небесных тел, таких как планеты, их спутники, а также звёзды и галактики, такой силой является гравитационное притяжение. Планеты движутся с постоянной скоростью по инерции вокруг Солнца и постоянно искривляют свою орбиту под влиянием его притяжения.

Проверьте свои знания

1. Что должно произойти для того, чтобы изменилось прямолинейное движение тела?

2. Из каких видов движения складывается вращательное движение?

3. К какому телу приложена центростремительная, а к какому – центробежная сила?

4. Что такое линейная и угловая скорости?

5. Что является центростремительной силой при движении планет вокруг Солнца?

Задания

Длина часовой стрелки настенных часов равна 15 см. Вычислите, какова её угловая и линейная скорости, выраженные в секундах.

§ 22 Периодическое движение: вращение и колебание

> *Пока я смотрел прямо вверх (маятник приходился как раз надо мною), мне почудилось, что он двигается. Минуту спустя впечатление подтвердилось. Ход маятника был короткий и, разумеется, медленный. Несколько мгновений я следил за ним с некоторым страхом, но скорей с любопытством. Наконец, наскучa его унылым качанием, я решил оглядеться.*
>
> *Э. По. Колодец и маятник*

Теперь познакомимся с тем, что происходит, если тело движется прямолинейно и одновременно с этим участвует во вращательном движении. Представьте себе, что катится колесо. Мы уже говорили, что при этом его единственная точка, а именно центр, движется прямолинейно, а остальные, наряду с этим поступательным движением, движутся по окружности вокруг этого центра. Какие траектории будут описывать эти точки, например точка, находящаяся на ободе колеса? Рассмотрим это на графике, где по оси x отложим положение точки относительно места начала её движения, а по оси y – её высоту над землёй (рис. 55). Мы видим, что эта высота меняется в пределах от нуля до размеров диаметра колеса. По мере того как колесо катится всё дальше, высота положения точки на его ободе постепенно повышается, затем начинает плавно снижаться до нуля и снова постепенно повышаться. Такое движение называют ***периодическим.***

Вращение.

Для того чтобы наблюдать периодические движения, необязательно, чтобы тела передвигались в пространстве вдоль прямой линии. В некоторых случаях достаточно, чтобы они просто *вращались.* В этом легко убедиться, посмотрев на обычные часы. Их стрелки вращаются вокруг оси, и при этом мы замечаем,

что они периодически возвращаются в одну и ту же точку циферблата. Можно построить график, аналогичный предыдущему, но теперь по оси x отложить уже не расстояние, а время. По оси y отложим цифры, на которые указывает стрелка. Правда, может возникнуть проблема: как измерять отрезки времени? Этого нельзя сделать по нашим часам, поскольку с их помощью мы измеряем движение стрелок самих часов.

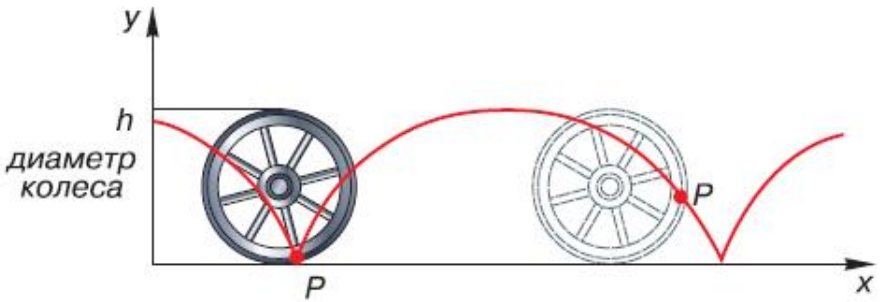


Рис. 55. Траектория движения точки оси и обода колеса при его качении

Для этой цели нужно воспользоваться другими часами, например песочными. Также можно считать свой пульс, как это делал Галилей, или просто довериться внутреннему ощущению времени, о котором мы говорили в предыдущей главе. В любом случае мы знаем, что время проходит, правильнее сказать, длится. И по мере того как оно длится, стрелки на циферблате часов меняют своё положение от 1 до 12, снова от 1 до 12 и так всё время, пока мы будем наблюдать. Но если часы имеют три стрелки – часовую, минутную и секундную, то они будут возвращаться в исходное положение, скажем, к цифре 1, через неодинаковое время. Секундной стрелке для этого понадобится 60 с, минутной – час, т. е. 3600 с, а часовой – 12 ч, т. е. 43 200 с. Это означает, что разные стрелки имеют различные периоды обращения, которые равны соответственно минуте, часу и 12 часам. Такое движение называют ***периодическим,*** и мы его уже обсуждали в предыдущем параграфе. По завершении цикла – полного оборота стрелки – она возвращается в исходное положение, и всё начинается сначала. Но это начало будет началом только с точки зрения этой стрелки, а с точки зрения других – процесс будет продолжаться. Если у нас есть часы с разными стрелками, мы можем не пользоваться для отсчёта никакими другими часами, а просто построить график, отложив по оси x показания минутной стрелки, а по оси y – секундной. Ровно через минуту секундная стрелка вернётся в исходное

положение и начнёт отсчёт сначала, а минутная сдвинется только на одно деление и будет отсчитывать всё новые отрезки времени. Посмотрев на график, мы увидим, что на нём изображена периодическая функция. Через равные отрезки на оси x, соответствующие минуте, точка будет иметь одинаковые значения, если отсчитывать их по оси x. Мы получили ***периодическое*** движение с ***периодом,*** составляющим 1 мин.

Под периодическими процессами понимают такие изменения в системах, когда их положение или состояние через определённый промежуток времени возвращается к тому, которое уже имело место раньше. Самым наглядным периодическим процессом служит движение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. С интервалом в 24 ч Солнце появляется над горизонтом, проходит через зенит и исчезает за другой точкой горизонта. С интервалом приблизительно в 365 дней меняется температура воздуха, распускаются и опадают листья, празднуется день рождения, начинается и кончается учебный год. Но эти примеры хотя и наглядны, но не совсем точны. Солнце сегодня восходит и заходит не совсем в тех точках, где оно это делало вчера, листья в этом году могут распуститься раньше или позже, чем в предыдущем, да и вообще Земля оборачивается вокруг Солнца не за 365 дней, а несколько медленнее. Так что такая периодичность, в отличие от периодичности точных физических процессов, имеет приблизительный характер. Но именно чередование времени суток и времён года послужило для человечества началом измерения времени, создания календаря и внесло порядок в хозяйственное и социальное устройство.

Колебания.

Периодические процессы также называют ***колебательными движениями*** или просто ***колебаниями***. Наиболее наглядно колебательное движение можно представить при помощи маятника. Движение маятника является примером механического колебательного движения. Обычный маятник представляет собой груз, подвешенный на нити (математический маятник) или прикреплённый к пружине (пружинный маятник). Математический маятник называется так потому, что при изучении его колебаний приходится, как это бывает всегда в математической физике (вспомним Галилея), чем– нибудь пренебрегать. В данном случае пренебрегают размером подвешенного тела и весом нити, на которой оно подвешено. Считается, что размер самого тела намного меньше длины нити, а

его вес намного больше её веса. В идеале тело вообще не имеет размеров и представляет собой бесконечно малую точку, а нить абсолютно невесома. Так, конечно, не бывает, но для расчётов такая модель очень удобна.

Математический маятник. Процесс колебания математического маятника выглядит следующим образом (рис. 56). Отведём груз на некоторое расстояние. Тогда на него будет действовать сила тяжести, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити. В результате сложения этих сил груз будет совершать движение по дуге. Оказавшись в самой низкой точке, он достигнет положения равновесия. Но он не останавливается, а по инерции продолжает своё движение по дуге, но уже поднимаясь вверх. Так как ускорения во время снижения и во время подъёма равны по модулю, высота этой точки будет в точности равна той, с которой маятник начал своё снижение. Поэтому весь процесс движения повторяется, но в обратном направлении. При отсутствии трения эти колебания будут продолжаться бесконечно.

Пружинный маятник. Пружинный маятник похож по принципу действия на математический, но вместо гравитации в нём действует сила упругости пружины. Если закрепить груз на горизонтальной пружине, а затем эту пружину растянуть, то сила упругости будет пропорциональна удлинению пружины (рис. 57). Под действием этой силы груз начнёт двигаться вверх к положению равновесия. Но, дойдя до точки равновесия, он не остановится, а будет по инерции продолжать двигаться в противоположную сторону, сжимая пружину. Упругая сила сжимаемой пружины сначала остановит груз, а потом заставит его двигаться в обратном направлении, пока он не вернётся в исходную точку.

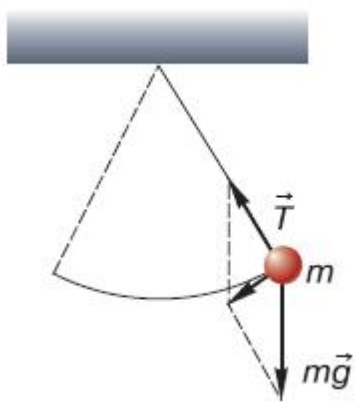


Рис. 56. Разложение сил при колебании маятника

Там на груз опять будет действовать сила растянутой пружины, и колебательный процесс будет продолжаться.

Показатели, характеризующие колебательные движения.

Колебание маятника можно охарактеризовать несколькими показателями. ***Периодом*** колебаний *(T)* называется промежуток времени, по прошествии которого маятник оказывается в своём начальном положении. Понятие периода применимо не только к механическому движению маятника, но и к любому периодическому движению. Например, период обращения Земли вокруг своей оси равен 24 ч, период движения поездов в метро может быть равен, например, 3 мин и т. д.

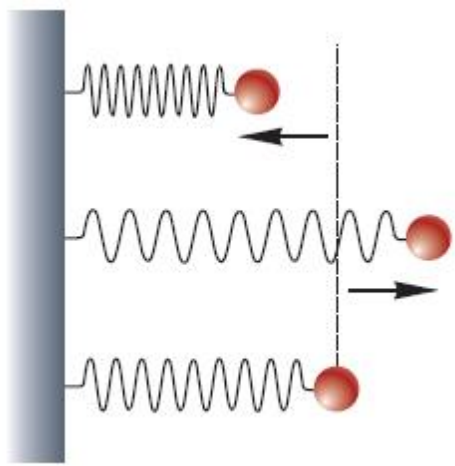


Рис. 57. Пружинный маятник

Частота колебаний, обычно обозначаемая буквой f или греческой буквой ν (ню), – это число колебаний в единицу времени, обычно в секунду. Единица частоты называется ***герц*** *(Гц),* который соответствует одному колебанию в секунду. ***Фазой*** колебаний называют величину, показывающую, какая часть колебаний прошла с начала колебательного процесса. Фаза измеряется в угловых величинах – градусах или радианах.

Амплитуда колебаний *(A)* – это максимальное значение, которое принимает колебательная система, т. е. «размах» колебания. Частота колебаний маятника определяется длиной нити и ускорением подвешенного к ней груза. Если на маятник не действуют никакие другие силы, кроме притяжения Земли, то это ускорение определяется ускорением свободного падения,

возникающем под действием силы тяжести. Но сила тяжести может быть различной, скажем, в различных географических точках. На экваторе она меньше, чем на полюсе, поэтому один и тот же маятник в тропиках будет качаться с несколько меньшей частотой, чем в Заполярье.

Проверьте свои знания

1. Какое движение называется периодическим?

2. Какими факторами пренебрегают при описании действия математического маятника?

3. Какая сила вынуждает качаться математический маятник?

4. Какие колебания называются гармоническими?

§ 23 Свободные и вынужденные колебания. Резонанс

Чеканя шаг, при свете звёзд,
На Чёртов мост выходит пост,
И, раскачавшись, рухнул мост,
Тра-ля-ля-ля!
Целый взвод слизнули воды,
Как корова языком,
Потому что у природы
Есть такой закон природы —
Колебательный закон!
Ать-два, левой-правой,
Три-четыре, левой-правой,
Ать-два-три,
Левой, два-три!

И кто с законом не знаком,
Пусть учит срочно тот закон,
Он очень важен, тот закон,
Тра-ля-ля-ля!
Повторяйте ж на дорогу
Не для кружева-словца,
А поверьте, ей-же-богу,
Если все шагают в ногу —
Мост об-ру-ши-ва-ет-ся!

А.Галич

Свободные и вынужденные колебания.

Частота колебаний математического маятника (или их период) зависит от длины нити, на которой подвешен груз, и от ускорения свободного падения в том месте, где находится маятник. Она не зависит от массы груза и от амплитуды колебаний. В этом легко убедиться, проделав простой опыт. Если

подвесить на нити груз определённой массы, измерить частоту качаний такого маятника, а затем удлинять или укорачивать нить, частота колебаний будет меняться пропорционально квадратному корню из длины нити. При этом масса подвешенного груза не имеет никакого значения. Вы можете подвесить на нити самые различные предметы и убедиться в том, что при одной и той же длине нити частота, с которой качаются все подвешенные предметы, будет одинаковой. Точно так же легко убедиться в том, что частота и амплитуда колебаний никак не связаны между собой. Амплитуда зависит от того, насколько вы при запуске колебания отклонили груз от состояния равновесия. Если вы отведёте его на большое расстояние, размах качаний будет большим, но их частота будет такой же, как если бы вы только слегка сдвинули его. Также поскольку в нашем опыте мы не можем избавиться от сопротивления воздуха, колебания маятника будут постепенно затухать, и амплитуда будет уменьшаться вплоть до полной остановки маятника. Однако всё это время частота колебаний будет оставаться постоянной. Период колебания любого математического маятника можно вычислить по формуле:

$T = 2\pi\sqrt{l / g}$,

где l – длина нити, а g – ускорение свободного падения.

Если у вас есть маятниковые часы типа ходиков, вы можете отрегулировать их ход, передвигая груз на маятнике. Чем ниже он опустится, тем медленнее будут идти часы. Это замедление будет пропорционально квадратному корню из длины маятника. Если увеличить расстояние от груза до точки подвески в четыре раза, то минутная стрелка, совершавшая полный оборот за час, теперь будет проделывать это за два часа. По формуле маятника можно точно вычислить ускорение свободного падения в любой точке Земли, а также на Луне или каком– либо другом небесном теле. Всё, что для этого требуется, это измерить длину нити и период колебаний *любого* подвешенного к ней груза. Для того чтобы точность определения периода была достаточно большой, надо подсчитать число колебаний (N) за достаточно продолжительное время (t), а затем вычислить период, разделив t на N.

До сих пор мы говорили о тех колебаниях, которые будет совершать тело, если его вывести из состояния равновесия и затем предоставить самому себе. Такие ***свободные*** колебания будут происходить с частотой, которую называют собственной. Но колебание может быть вызвано и другими причинами, например периодически меняющейся внешней силой. Звонарь может раскачивать язык колокола с той частотой, которая соответствует требуемой мелодии. Игла в швейной машине двигается вверх и

вниз под влиянием действующей на неё силы тяги от мотора. В этом случае система совершает ***вынужденные колебания.***

Резонанс

А что произойдёт, если периодическая сила действует на систему, способную совершать собственные колебания? Рассмотрим это на примере качелей (рис. 58). Для того чтобы раскачать качели, их отводят на некоторое расстояние от точки равновесия и отпускают. Качели за время, равное периоду, совершают одно колебание, возвращаются в исходную точку, и в этот момент, когда их скорость становится равной нулю, их толкают в том направлении, в котором они бы всё равно начали двигаться. То, что толчок делается в тот момент, когда качели возвращаются в первоначальное положение, означает, что прилагаемая сила будет направлена на преодоление сил сопротивления для того, чтобы колебания были незатухающими. При совпадении частоты вынуждающей силы с собственной частотой колебательной системы (качелей) будет наблюдаться резкое возрастание амплитуды.

Рис. 58. При раскачивании качелей частота периодической

внешней силы совпадает с частотой собственных колебаний качелей

Возрастание амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты вынуждающей силы с собственной частотой колебательной системы называют ***резонансом.***

Резонанс играет очень большую роль в самых разнообразных природных и технических процессах, причём эта роль может быть как положительной, так и отрицательной. Наиболее известный случай, связанный с разрушительным действием резонанса, произошёл в 1905 г. в Петербурге (рис. 59). Кавалерийский эскадрон чётким церемониальным шагом переходил через реку Фонтанку по Египетскому мосту. Частота ударов лошадиных копыт совпала с собственной частотой колебаний моста, и тот обрушился. Поэтому теперь при движении по мостам войскам приказывают идти вольным шагом, а поезда снижают скорость или, наоборот, проносятся через мост с максимальной скоростью, для того чтобы период колебаний от ударов колёс о стыки рельсов был заведомо больше или меньше собственных колебаний моста.

Библейский рассказ о том, как рухнули стены города Иерихон, когда осаждавшие разом громко затрубили во все трубы, может иметь под собой вполне реальную основу. Такое могло произойти, если достаточно мощные звуковые колебания звучащих в унисон труб совпали с частотой собственных колебаний стен города.

Как будет рассказано дальше, многие природные явления представляют собой колебательные процессы: это и звук, и свет, и передача сигналов в телевизорах и мобильных телефонах, и радиоактивное излучение. Частота колебаний в этих процессах может в большей или меньшей степени совпадать с частотой колебаний других систем, окружающих их и влияющих на них.

Рис. 59. Египетский мост в Санкт-Петербурге

Явление резонанса используется при конструировании различных приспособлений, применяемых в средствах связи, медицине и во многих других областях. Для того чтобы усилить или ослабить какие-либо колебания, надо повлиять на частоту колебаний тех объектов, которые действуют на интересующее нас явление или процесс. Чем ближе будут частота собственных колебаний и частота внешней силы, тем больше будет амплитуда возникающих вынужденных колебаний. В дальнейшем мы рассмотрим конкретные примеры резонансных процессов.

Проверьте свои знания

1. Какие факторы определяют частоту колебаний математического маятника?

2. Что такое свободные и вынужденные колебания?

3. В каких случаях возникает явление резонанса?

Задания

1. Изучите особенности колебания математического маятника. Для этого подвесьте грузик на тонкую нить, отведите его от состояния равновесия и отпустите. Пронаблюдайте, как будет изменяться амплитуда колебаний маятника, и объясните, почему она будет постепенно уменьшаться. Будет ли при этом меняться частота колебаний маятника?

Теперь увеличивайте или уменьшайте длину нити, на которой подвешен грузик. Наблюдайте, как будет меняться частота колебаний маятника.

Увеличивайте или уменьшайте массу подвешенного грузика. Будут ли меняться частота и амплитуда колебаний маятника?

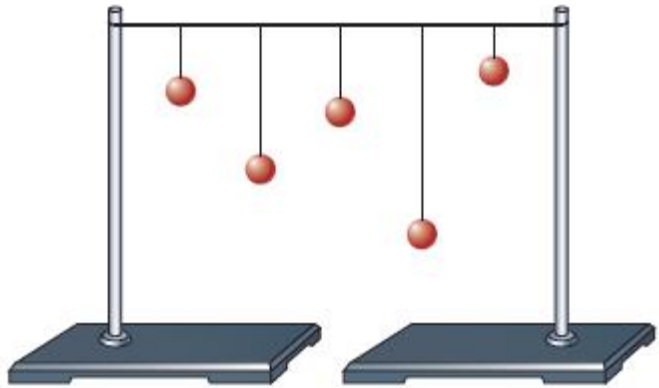


Рис. 60. Иллюстрация к заданию 2

2. Натяните верёвку между двумя стойками и подвесьте к ней несколько верёвок разной длины с прикреплёнными к ним грузиками (рис. 60). Отведите в сторону один из грузиков и отпустите, заставив его свободно колебаться. Пронаблюдайте, как будут качаться остальные грузики

3. Рассмотрите рисунок 61 и объясните, как изображённый на фотографии мост через Волгу связан с понятием резонанса.

Рис. 61. Мост через Волгу

§ 24 Волны

Набегают волны синие.
Зелёные? Нет, синие.
Как хамелеонов миллионы,
Цвет меняя на ветру.

Вот передо мною море голубое,
Плещет волна, волна.
Знаю, о чём, о чём
Шепчет она, она.
Шепчет она о том, что нет предела
Снам и мечтам, мечтам.
И всё зовёт, зовёт
К дальним местам, местам.

Н. Матвеева

Представим себе, что рядом с математическим маятником находится другой точно такой же маятник (рис. 62, А). Плоскости, в которых качаются маятники, совпадают. Отведём первый маятник в направлении, противоположном тому, где находится второй, и отпустим его. Маятник начнёт движение, пройдёт точку равновесия и заденет соседний маятник, передав ему свой импульс.

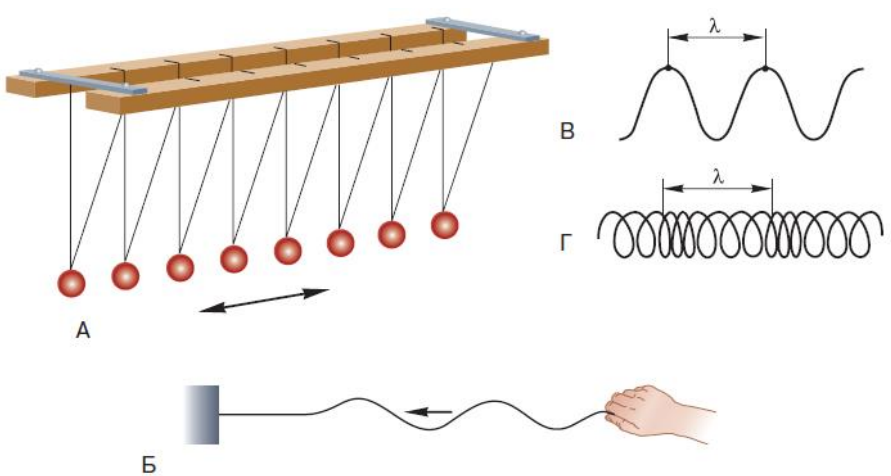


Рис. 62. Волны: А – продольные; Б – поперечные.

Длина волны (λ) – это расстояние между ближайшими горбами или впадинами поперечной волны (В) или расстояние между ближайшими сгущениями или разрежениями продольной волны (Г)

В этом случае происходит упругое столкновение, при котором тела не слипаются, а отскакивают в противоположных направлениях. Приобретя импульс, второй маятник начнёт своё собственное качание, а первый после удара будет двигаться в противоположном направлении. Получается, что второй маятник проделает точно такое же колебательное движение, что и первый, но только с запаздыванием. Теперь вообразим, что за вторым маятником находится третий, за ним четвёртый и т. д. Последовательно толкая друг друга, со временем все они будут колебаться с одинаковой частотой и амплитудой, но каждый из них будет совершать своё колебание через некоторое время после предыдущего. Первый маятник, вернувшись после столкновения со вторым в исходное положение, начнёт новое колебание, и весь процесс повторится. Такое явление, в котором колебания последовательно передаются из одних точек пространства в другие, называют ***волной.*** Можно сказать, что волна представляет собой *колебание, распространяющееся в пространстве.* Если система маятников или другая волновая система является идеальной, т. е. в ней не действуют силы, мешающие движению, то волны по ней пройдут от первого до последнего маятника, не изменяя амплитуды. Это означает, что такая волна распространяется без затухания, т. е. является ***незатухающей.*** В реальной системе чем дальше от первого маятника находится другой маятник, тем слабее будут его колебания, пока на большом расстоянии они совсем не исчезнут. Такую волну называют ***затухающей.***

Допустим, что мы имеем дело с незатухающей волной, и посмотрим, как она выглядит в каждый момент времени. Последовательно рассматривая её отдельные участки, мы увидим, что в некоторых из них соседние маятники находятся близко друг от друга, так как они только что столкнулись или вот-вот столкнутся. В других местах мы увидим, что расстояние между ними достаточно велико, так как один из них в этот момент продвинулся максимально вперёд, а другой максимально назад от точки равновесия. Если теперь построить график, где по всей длине нашей системы будут обозначены расстояния между соседними маятниками, то получится линия, которая описывается синусоидой. Такую форму колебаний называют гармонической (см. § 21).

Продольные волны.

В природе, однако, распространены не системы из искусственно сделанных грузиков на нити, а естественные системы, состоящие из молекул, атомов и элементарных частиц. В этих случаях размер колеблющихся предметов и расстояния между каждой их парой очень малы по сравнению с расстоянием, на которое распространяется волна, а число этих объектов таково, что измерить все расстояния невозможно. В таких системах построить график движения волны можно другим способом. Возьмём маленькие отрезки одинаковой длины, последовательно расположенные вдоль линии, по которой распространяется волна, и подсчитаем, сколько точек находится на каждом из них. Это число будем называть плотностью точек на данном отрезке. Мы убедимся в том, что на некоторых участках плотность будет небольшой (такие участки называют областью разрежения), а на некоторых значительно большей (эти участки называют областью сгущения). Если мы отложим на графике значения плотности в каждом участке линии, то увидим, что она колеблется в соответствии с тем же гармоническим синусоидальным законом.

Такие волны, в которых частицы тела колеблются в направлении распространения волны, называют ***продольными волнами*** или ***волнами сжатия.***

Поперечные волны

Наряду с продольными существуют ***поперечные волны,*** в которых частицы колеблются перпендикулярно направлению распространения волны. Наблюдать поперечную волну проще всего, если привязать к чему-нибудь верёвку, а затем взяться за её свободный конец и качнуть (рис. 62, Б). По верёвке побежит волна, в которой со строгой регулярностью во времени и пространстве будут чередоваться горбы и впадины. Если качать конец верёвки в течение некоторого времени с постоянной частотой, волны будут постоянно распространяться по ней от вашей руки до того места, где верёвка закреплена. Это происходит потому, что в верёвке, как и во всяком твёрдом теле[8], существуют силы сцепления между молекулами, которые называются силами упругости. Первая качнувшаяся молекула тянет за собой вторую, вторая – третью и т. д. В принципе весь процесс напоминает тот, который происходит при последовательном колебании маятников с той разницей, что колебания происходят не в направлении движения волны, а

перпендикулярно ей.

Проще всего наблюдать волны на воде, будь то большие морские волны, мелкая рябь на пруду или реке или расходящиеся круги от брошенного в лужу камня. Понаблюдав за такими волнами, мы увидим, что в некоторых местах вода приподнята над неким средним уровнем, а в других находится ниже его. Эта картина пребывает в постоянном движении: там, где только что была выпуклость, появляется впадина, и наоборот. Такие волны не подчиняются простым законам, они представляют собой сложную комбинацию продольных и поперечных волн. Форма волны и характер её движения также зависят от глубины водоёма и некоторых других причин (рис. 63, 64).

Необходимо иметь в виду, что среда, в которой распространяются волны, сама никуда не движется. В этом легко убедиться, понаблюдав за каким-либо предметом, находящемся на поверхности воды.

Рис. 63. Кацусика Хокусай. Большая волна в Канагаве. 1823–1831 (Метрополитен-музей, Нью-Йорк)

После того как в воду бросили камень, предмет начнёт колебаться вверх и вниз, но его расстояние до берега при этом не изменится. Однако это касается только простого волнового движения. В более сложных случаях колебание может складываться с движением самой среды. Примером такого сложного движения является морской прибой.

Физические характеристики волны.

Как и любое явление, волну можно описать с помощью нескольких физических величин.

Амплитуда волны – это наибольшее отклонение колеблющейся по определённому закону величины, которая эту волну характеризует, от среднего значения или от некоторого значения, условно принятого за нулевое. Например, для поперечной волны это половина расстояния от вершины горба до глубины впадины.

Скоростью распространения волны называют скорость движения любой её точки, находящейся в определённой фазе: гребня или впадины, точки максимального сгущения или максимального разрежения – в направлении движения волны. Эта скорость, как и любая другая, измеряется в м/с.

Длиной волны называют расстояние между двумя горбами или двумя точками с максимальной плотностью (соответственно, между впадинами или точками с минимальной плотностью) (рис. 62, В). Обычно длину волны обозначают греческой буквой λ (лямбда), её единицей в СИ является метр. Однако на практике часто приходится иметь дело с очень малыми длинами волн, поэтому длину волны часто измеряют в мили-, микро– или нанометрах.

Частота колебаний волны определяется так же, как и любая другая частота колебаний, и означает число колебаний, которое определяющая волну величина совершает за единицу времени. Обозначается она, как мы уже знаем, греческой буквой ν, а единицей её измерения служит герц или $с^{-1}$. В случае больших частот их можно измерять в килогерцах (кГц) или мегагерцах (МГц).

Нетрудно найти взаимосвязь между скоростью распространения волны, её длиной и частотой. Пусть волна распространяется со скоростью ν м/с, а её частота равна ν Гц. Это означает, что в течение секунды волна пройдёт ν метров и совершит на этом расстоянии ν колебаний. Следовательно, длина волны будет равна ν/ν метров. Например, если какая-то волна распространяется со скоростью 100 м/с, а её частота равна 10 Гц, то её длина будет составлять 100 м/с: 10 $с^{-1}$ = 10 м.

Рис. 64. Иван Айвазовский. Девятый вал. 1850 (Государственный Русский музей, Санкт-Петербург)

Волны и связанные с ними процессы играют огромную роль в природе, жизни человека и широко применяются во всевозможных технических устройствах. В следующем параграфе мы познакомимся с одним из наиболее обычных волновых явлений – звуком.

Проверьте свои знания

1. Как связаны между собой скорость распространения, длина и частота волны?

2. Почему длина волны при одной и той же частоте возбуждающих колебаний неодинакова в разных средах их распространения?

3. Какие волны распространяются в толще воды?

4. Как распространяются продольные и поперечные волны?

§ 25 Звук

Слышишь, сани мчатся в ряд,
Мчатся в ряд!
Колокольчики звенят,
Серебристым лёгким звоном
слух наш сладостно томят,
Этим пеньем и гуденьем о забвеньи говорят.
О, как звонко, звонко, звонко,
Точно звучный смех ребёнка…

Слышишь к свадьбе звон святой,
Золотой!
Сколько нежного блаженства в этой песне молодой!
Сквозь спокойный воздух ночи
Словно смотрят чьи-то очи
И блестят…

Слышишь, воющий набат,
Точно стонет медный ад!
Эти звуки, в дикой муке, сказку ужасов твердят.
Точно молят им помочь,
Крик кидают прямо в ночь,
Прямо в уши тёмной ночи
Каждый звук,
То длиннее, то короче,
Выкликает свой испуг…

Э. По. Колокольчики и колокола

Все виды колебаний, которые мы рассмотрели в предыдущих параграфах, являются механическими колебаниями, так как в их

основе лежит механическое движение каких-либо предметов. Эти предметы могут иметь большие размеры, как, например, грузы, подвешенные на нити в математическом маятнике, или чрезвычайно малые, как молекулы в пружине, верёвке или воде. К числу механических волновых явлений относится и звук.

Звук как пример механических колебаний

Звуковые волны являются продольными и могут возникать в тех средах, где существуют взаимодействия между частицами. Эти среды могут быть твёрдыми, жидкими или газообразными. Поэтому звуковые колебания представляют собой ***механические колебания.*** Собственно звуком, или ***акустическими колебаниями***, называют колебания, частота которых находится в диапазоне от 20 до 20 000 Гц. Колебания с меньшей и большей частотой человеческим ухом не воспринимаются. Неслышимые механические колебания с частотой ниже звукового диапазона называются ***инфразвуковыми,*** а с частотами выше звукового диапазона – ***ультразвуковыми.*** Несмотря на то что ультразвук не воспринимается человеком, его могут слышать некоторые животные. Летучие мыши используют ультразвук для *эхолокации,* определяя по отражению ультразвуковых волн положение предметов в пространстве (рис. 65). Известен так называемый «свисток браконьера» – устройство, издающее ультразвуки. Охотясь в запрещённом месте, браконьер с помощью этого свистка может подозвать собаку без риска быть услышанным егерями.

В том, что звук представляет собой именно механическое колебание, легко убедиться, поставив электрический звонок под герметически закрытый колокол и начав выкачивать из-под колокола воздух. По мере откачивания воздуха звук будет делаться всё слабее и наконец совсем прекратится. Таким образом, звук не может распространяться в вакууме. В том, что звук имеет механическую природу, можно иногда убедиться на собственном опыте, почувствовав, что чрезмерно громкие звуки оказывают столь сильное давление на барабанные перепонки нашего уха, что это иногда вызывает болевые ощущения.

Хотя звуки могут распространяться не только в газообразной, но и в жидкой и твёрдой среде, на практике мы обычно имеем дело со звуком, распространяющимся в воздухе.

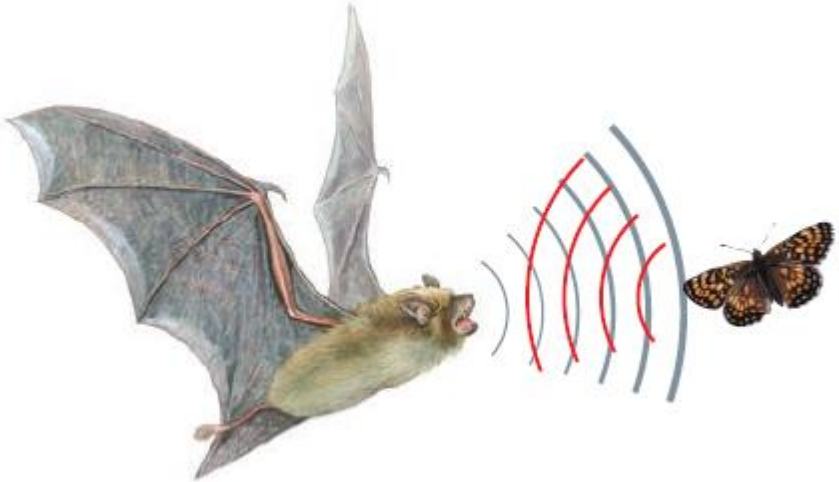


Рис. 65. Летучие мыши используют ультразвук для эхолокаци

При температуре 10 °С звук распространяется в воздухе со скоростью 337,5 м/с. Зная это, можно определить, на каком расстоянии от нас ударила молния. Поскольку скорость света очень велика, мы не сделаем большой ошибки, если будем считать, что вспышка молнии доходит до нас мгновенно. Если с момента вспышки до раската грома прошло 3 с, можно определить, что разряд был примерно на расстоянии 1 км от нас.

Поскольку звуковые волны являются продольными, они состоят из чередующихся участков высокой и низкой плотности воздуха. Поэтому звук может возникнуть не только в результате колебаний какого-то тела, но и с помощью вращательного движения. Если быстро вращать диск с отверстиями, расположенными по его окружности, и одновременно продувать струю воздуха, то позади отверстий струя будет прерывистой, будут возникать периодические сгущения и уплотнения воздуха, в котором возникнут продольные колебания. А это значит, что при определённой скорости вращения диска, когда эти колебания окажутся в акустическом диапазоне, мы услышим звук. Этот факт ещё раз показывает, что между колебательным и вращательным движением существует много общего.

Тоны и обертоны.

В реальной жизни мы почти никогда не имеем дела со звуками, создаваемыми чистыми гармоническими, синусоидальными, волнами. Если записать реальный звук и

отобразить его колебание на экране, мы увидим сложную фигуру с постоянно меняющейся частотой и амплитудой колебаний. Однако любое самое сложное колебание можно представить как сумму различных гармонических, т. е. синусоидальных, колебаний. Гармоническое звуковое колебание называют ***тоном*** или ***монохроматическим звуком.*** Для получения чистого тона часто используют приспособление, называемое камертоном. При ударе камертон начинает совершать гармонические колебания, передавая окружающему его воздуху колебания такой же частоты. Чем больше частота этих колебаний, тем более высокий звук мы слышим. При прочих равных условиях большой камертон будет колебаться с частотой, меньшей, чем маленький, и, следовательно, издавать более низкий звук (рис. 66, А). Громкость звука зависит от амплитуды колебаний: чем сильнее ударить по камертону, тем с большей амплитудой он будет колебаться и тем громче будет издаваемый им звук (рис. 66, Б).

Но звуки, издаваемые музыкальными инструментами, так же как и звуки в голосах человека и животных, не являются гармоническими. Как правило, в каждом звуке преобладает один тон, который может соответствовать определённой ноте. Так для настройки музыкальных инструментов часто используют ноту «ля». Звук этой ноты в первой октаве соответствует колебанию с частотой 440 Гц. Но мы легко различаем одно и то же «ля», изданное голосом одного или другого человека, а также воспроизведённое на фортепиано, гитаре или саксофоне.

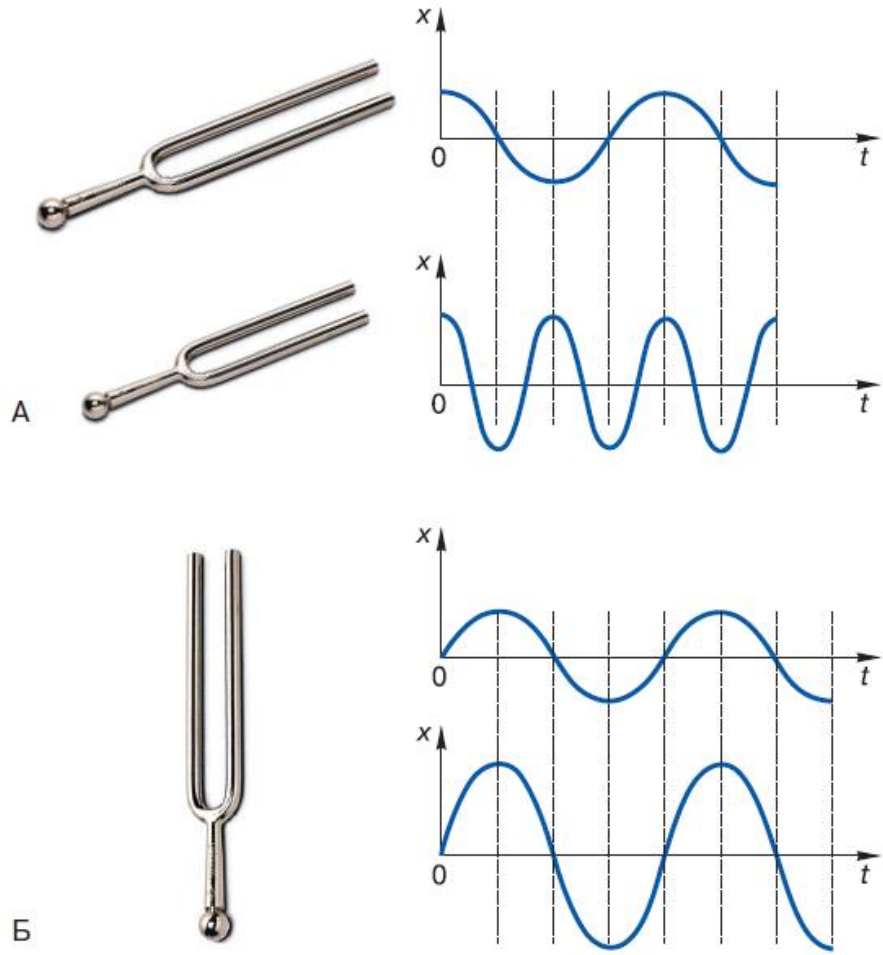


Рис. 66. Для получения чистого тона используют камертон: А – чем больше амплитуда колебаний, тем громче будет издаваемый камертоном звук. Б – при прочих равных условиях большой камертон будет колебаться с частотой, меньшей, чем маленький, и, следовательно, издавать более низкий звук

Причина состоит в том, что в реальном звуке, помимо основного тона, присутствуют дополнительные, более слабые гармонические колебания с большей или меньшей частотой. Они называются ***обертонами,*** и их совокупность, соотношение их амплитуд и фаз определяет ***тембр*** звука. Именно благодаря тембру мы различаем звучание различных музыкальных инструментов и голоса различных людей.

Звуки и музыка

На рисунке 67 показаны записи звуковых колебаний, созданных роялем и кларнетом. Они представляют один и тот же звук, соответствующий частоте 100 Гц. Мы видим, что основной период колебаний в обоих случаях одинаков, но обертоны представлены с разными амплитудами и фазами.

Тембр музыкального инструмента играет огромную роль в искусстве. Основной тон струнного инструмента, например скрипки или гитары, определяется длиной и толщиной струны, генерирующей гармонические колебания.

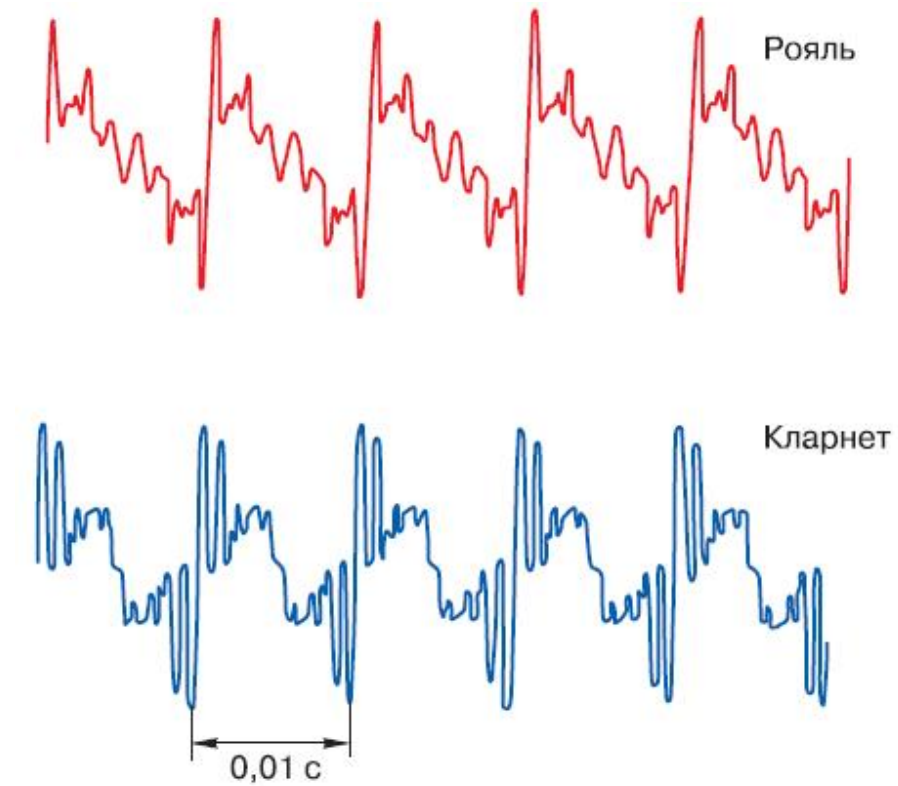


Рис. 67. Записи звуковых колебаний, созданных роялем и кларнетом

Перебирая лады, мы изменяем длину звучащего участка струны и тем самым меняем высоту звука, от которой зависит звучащая нота. Сопровождающие её обертоны определяют качество звучания, степень приятности восприятия звука. Обертоны в значительной степени зависят от конструкции инструмента, и изменить их исполнитель не в состоянии. Поэтому существуют особо ценные музыкальные инструменты, такие как скрипки Амати или Страдивари, до сих пор не имеющие себе равных (рис. 68). Большое значение имеет также

акустика помещений, в которых происходит исполнение музыкального произведения. Стены, пол, потолок и находящиеся там предметы могут отражать или поглощать звуковые волны, которые затем резонируют и складываются в различных сочетаниях, создавая неповторимую акустику зала. При проектировании концертного зала желательно, чтобы звуки, доносящиеся со сцены, звучали отчётливо и громко, а те, которые вольно или невольно производятся соседями по залу, приглушались и достигали слуха в наименьшей степени.

Рис. 68. Скрипка Страдивари

В современной музыкальной культуре широко используют музыкальные синтезаторы, с помощью которых можно не только создать мелодию, но и придать ей необходимый набор обертонов, имитируя таким образом звучание любого музыкального инструмента. Современные синтезаторы позволяют моделировать

не только инструмент в целом, но и отдельные его характеристики, такие как длина, профиль и диаметр трубы, скорость воздушного потока, материал корпуса; для струнных инструментов – размер корпуса, материал, длина и натяжение струн и т. д.

Многое в восприятии музыкального произведения зависит от мастерства исполнителя. Он по своему усмотрению может менять интервалы между отдельными нотами и соотношение их громкости, т. е. амплитуды производимых колебаний. Уровень исполнения и индивидуальные особенности исполнителя определяются тем, как он распределяет звуки на том временном интервале, в котором исполняется произведение. Различное построение одной и той же мелодии во времени во многом определяет различия в восприятии её слушателями.

В теории музыки существуют понятия ***консонанса*** и ***диссонанса.*** Сочетание консонирующих нот вызывает у человека чувство покоя, расслабленности, умиротворённости, а сочетание диссонирующих – беспокойство и стремление к движению. В прошлое время в музыкальной традиции преобладало стремление к консонансу, он использовался при создании большинства музыкальных произведений. В динамичном и тревожном времени конца XIX и в XX в. появилась тенденция к широкому использованию диссонансных сочетаний нот. Это отчётливо проявилось в творчестве А. Н. Скрябина, С. С. Прокофьева, И. Ф. Стравинского и других композиторов. С точки зрения физической теории звука различие между консонансом и диссонансом заключается в том, что в первом случае частоты входящих в аккорд нот соотносятся как небольшие целые числа. Каждая нота в определённой октаве имеет частоту ровно в два раза ниже, чем в более высокой октаве. Соотношение частот в квинте составляет 2: 3, а в кварте – 3: 4. В диссонансных звучаниях соотношения частот определяются большими числами, например 19: 23.

Можно уйти ещё дальше от периодичности колебаний. Если, например, мы одновременно ударим по многим клавишам рояля в совершенно случайном сочетании, то вообще не получим музыкального звучания. Получаемый при этом звук называют ***шумом.*** Шумы состоят из огромного числа колебаний с разными частотами. Они могут быть либо длинными, но очень сложными по форме (скрип, шипение), либо короткими (стук, щелчок). К шумам можно также отнести все произносимые нами согласные звуки.

Проверьте свои знания

1. В каких средах может возникать звук?
2. Каков частотный диапазон слышимости человека?
3. Что такое ультра– и инфразвуковые колебания?
4. Чем определяется тембр звука?

Задания

Проведите исследование. Возьмите сосуд, из которого можно откачивать воздух, и поместите туда электрический звонок. Как будет меняться громкость звонка по мере откачивания воздуха? Почему?

§ 26 Электростатическое взаимодействие

Закон Кулона играет джаз,
Закон Кулона волнует нас,
Закон Кулона и здесь и там,
Закон Кулона известен нам.

Сила по Кулону – ку на ку,
Сила по Кулону – ку на ку,
Сила по Кулону – ку на ку,
Делённая на эр квадрат.

Студенческая песня

Слово «электричество» происходит от греческого названия янтаря («электрон»). Ещё в Древней Греции люди заметили, что, если потереть кусочек янтаря мягкой тканью или просто сухой ладонью, он начинает притягивать к себе мелкие предметы. Другие вещества тоже в какой-то мере обладали этой способностью, но поскольку янтарь по силе притяжения превосходил их все, то явление было названо в его честь.

История изучения электричества.

Экспериментальным изучением электричества никто не занимался вплоть до 1600 г., когда англичанин **Уильям Гильберт** (1544–1603) сконструировал прибор, состоящий из стерженька, подвешенного наподобие магнитной стрелки, назвал его *версором* и стал проводить исследования. С помощью этого первого электроскопа Гильберт показал, что притягивать может не только натёртый янтарь, но и алмаз, сапфир, опал, сера, сургуч и стекло (рис. 69). Все эти тела он назвал электрическими телами. Он также установил, что «электрические тела» могут притягивать «металлы, дерево, листья, камни, комки земли и даже воду и масло». В середине того же XVII в. появилось абстрактное понятие самого явления – электричество. Наиболее наглядно электрические явления были продемонстрированы немецким исследователем **Отто фон Герике** (1602–1686), который изготовил вращающийся шар из плавленой серы. После того как этот шар натирали сухой ладонью, он приобретал замечательные свойства. Особенно интересным был опыт с пушинкой, которая,

оттолкнувшись от шара, продолжала ещё некоторое время находиться «в сфере его действия», перемещаясь вместе с ним по комнате.

Рис. 69. Янтарь и алмаз, сапфир и опал, серу, сургуч и стекло Уильям Гильберт назвал электрическими телами

Герике также заметил, что если наэлектризовать шар в темноте, то он сверкает «подобно сахару, раздробляемому пестиком», при этом слышно характерное потрескивание. Через некоторое время опыт Герике был воспроизведён англичанином **Робертом Бойлем** (1627–1691), который получил аналогичные результаты и, кроме того, показал, что воздействие электрической силы проявляется и в пустоте. Таким образом, были опровергнуты старые представления о действии электричества через воздух.

Многочисленные опыты, проведённые в конце XVII – начале XVIII в., показали, что в наэлектризованных предметах иногда возникают силы притяжения, а иногда – отталкивания. Это привело в 1733 г. к открытию, сделанному французским исследователем **Шарлем Франсуа Дюфе** (1698–1739). Проведя

множество остроумных и изящных опытов, он пришёл к выводу о существовании двух видов электричества, которые он назвал «стеклянным» и «смоляным» в честь тех предметов, которые позволили ему сделать это открытие. Многие исследователи попытались объяснить этот удивительный феномен. Известный американский учёный и политический деятель **Бенджамин Франклин** (1706–1790), открывший электрическую природу молнии и увековеченный на стодолларовой купюре, полагал, что электричество представляет собой некую субстанцию (флюид), которая может присутствовать в заряженных телах либо в избытке, либо в недостатке. В первом случае Франклин называл тело положительно электризованным, а во втором – отрицательно электризованным. Однако вскоре появилась теория, утверждающая, что в каждом теле имеются оба флюида, а в нейтральном, т. е. неэлектризованном, состоянии они присутствуют в равных количествах. В принципе эта теория оказалась справедливой, и впоследствии эти два вида «флюида» были названы положительным и отрицательным электрическими зарядами. Названия эти чисто условные, они не отражают какие-то «положительные» или «отрицательные» качества электричества, это просто оставшееся от Франклина наследие. Как мы теперь знаем, разноимённые заряды притягивают друг друга, а одноимённые отталкивают (рис. 70). Когда положительно заряженное тело соприкасается с отрицательно заряженным, их заряды компенсируют друг друга. В результате тела становятся электрически нейтральными.

Закон Кулона.

Закон, согласно которому взаимодействуют электрические заряды, открыл в 1784 г. **Шарль Огюстен Кулон** (1736–1806). Усовершенствовав приспособление, с помощью которого Кавендиш измерил гравитационную постоянную, он изобрёл очень точные крутильные весы. С помощью этих весов Кулон провёл многочисленные эксперименты и установил, что сила отталкивания одноимённых электрических зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Опыты по изучению притяжения разноимённых зарядов проделать было сложнее, так как очень трудно помешать шарику войти в соприкосновение с другим, противоположно заряженным. Но Кулону удалось преодолеть эту трудность, и оказалось, что сила притяжения подчиняется такой же закономерности. Результаты экспериментов позволили Кулону сформулировать ***закон,***

который сейчас носит его имя. Согласно этому закону

сила притяжения (в случае разноимённых зарядов) или отталкивания (в случае одноимённых) прямо пропорциональна произведению величины этих зарядов.

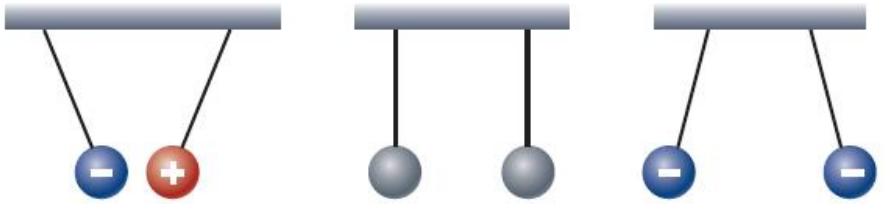


Рис. 70. Притяжение и отталкивание разноимённых и одноимённых зарядов

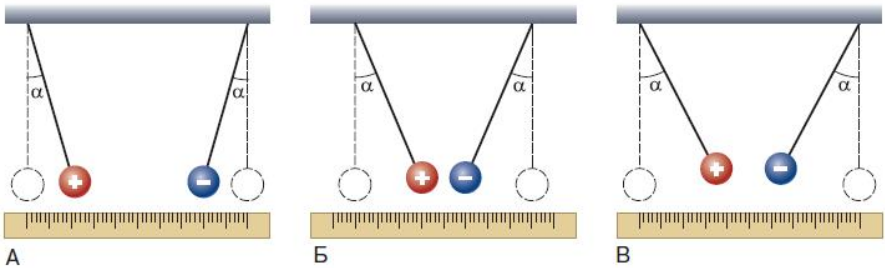


Рис. 71. Зависимость силы притяжения разноимённых зарядов от расстояния между ними (А и Б) и от величины зарядов (В – заряды шариков увеличены)

$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / R^2$.

В этой формуле F – сила взаимодействия, q_1 и q_2 – величины зарядов, а R – расстояние между зарядами. Коэффициент k зависит от выбора единиц измерения и от свойств среды, разделяющей заряды. Единицей измерения заряда в СИ служит ***кулон.*** Силу, направленную от одного заряда к другому, называют ***электростатической.***

Проверьте свои знания

1. В каком веке началось изучение электрических явлений?

2. Кто доказал электрическую природу молнии?

3. Как называется сила, благодаря которой электрические заряды испытывают притяжение или отталкивание?

4. Сформулируйте закон Кулона.

Задания

1. Объясните, почему после ношения одежды из некоторых материалов при прикосновении к различным предметам или к людям иногда чувствуется укол и слышится звуковой щелчок.

2. Тщательно натрите несколько предметов, сделанных из различных неметаллических материалов, сухой тканью и приблизьте их к мелким обрывкам бумаги. Объясните результаты происходящего.

3. Подготовьте сообщение или презентацию об опытах Дюфе.

4. Используя дополнительные источники информации, выясните, что такое лейденская банка. После её изобретения в XVIII в. было проведено множество наглядных демонстрационных опытов с её использованием. Найдите информацию об этих экспериментах и представьте её в форме сообщения или презентации.

§ 27 Физические поля

Подходит в вагоне метро милиционер к спящему студенту, у которого на коленях лежит учебник Ландау «Теория поля»: «Просыпайся, агроном! Конечная!»

Анекдот

Вероятно, вы уже заметили, как поразительно похожи математические формулы законов Кулона и закона всемирного тяготения. Действительно, между силой тяготения и электростатической силой есть много общего. В обоих случаях существует объект, обладающий некоторым качеством: массой или зарядом. Этот объект оказывает воздействие на другие тела, обладающие таким же качеством. Величина этого воздействия убывает пропорционально квадрату расстояния от объекта и на бесконечно большом расстоянии стремится к нулю.

Физические поля как один из видов материи.

Давно было известно, что электростатическое и гравитационное взаимодействие могут распространяться и в вакууме без какой-либо материальной среды, иначе говоря, в пустом пространстве. Представить себе это довольно сложно, поэтому физики до XIX в. считали, что пустого пространства не существует: всё заполнено тонкой неуловимой неподвижной средой, которую называли мировым эфиром. Через эфир и осуществляются все взаимодействия. Однако в начале XX в. выяснилось, что эфира не существует. Поэтому современная наука считает, что все взаимодействия осуществляются ***физическими полями.*** Если тело *А* создаёт в окружающем его пространстве силовое поле, которое оказывает действие на тело *В,* находящееся на расстоянии от тела А, то и тело *В* точно таким же образом действует на тело *А*. Поле, наряду с веществом, представляет собой один из видов ***материи.***

Фундаментальные взаимодействия. Благодаря физическим полям осуществляются все возможные взаимодействия между физическими телами. Всего в природе существует четыре вида взаимодействия, которые называют ***фундаментальными.*** Все остальные взаимодействия можно свести к этим основным. Два из

четырёх фундаментальных взаимодействий, сильное и слабое, действуют только на очень малых расстояниях – внутри ядер атомов. О них мы узнаем позже, а пока рассмотрим два взаимодействия, хорошо заметных в повседневной жизни, – ***гравитационное*** и ***электромагнитное.*** Последнее осуществляется при помощи ***электромагнитного поля,*** о котором мы поговорим в следующем параграфе. Электростатическое поле – частный случай электромагнитного поля.

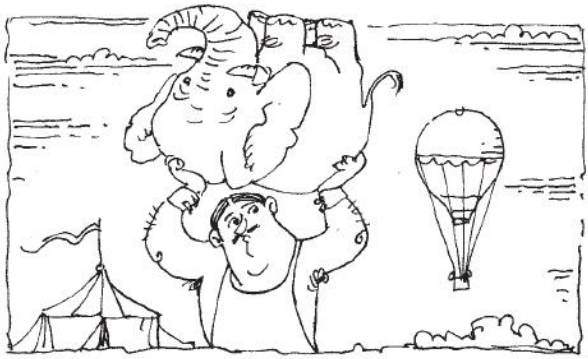
Сила, с которой поле действует на единичную массу или на единичный заряд, равна ***напряжённости*** поля в данной точке. Напряжённость определяется как отношение силы, действующей на тело, к его массе (в случае гравитационного поля) или к его заряду (в случае электростатического поля). Отсюда видно, что напряжённость поля тяготения во всех точках равна ускорению свободного падения.

Отличия между гравитационным и электростатическим полями.

Несмотря на математическое сходство формул, которыми описываются гравитационное и электростатическое поля, между ними существуют и большие различия. Прежде всего благодаря гравитационному взаимодействию тела могут только притягиваться. Если в поле действия какой-либо массы окажется другая масса, то на неё всегда будет действовать сила, направленная в сторону первой. В то же время электростатическое поле может создаваться двумя видами зарядов, и в результате этого может возникать как притяжение, так и отталкивание.

Сила гравитационного поля ничтожно мала по сравнению с силой поля электростатического. Иначе и быть не может. Ведь в гравитационном поле существует только один вид взаимодействия – притяжение. Если бы гравитационное притяжение было таким же сильным, как электростатическое, все планеты, звёзды и галактики давно бы уже «слиплись» в единую массу. Никакой инерции не хватило бы для того, чтобы удержать планету на орбите, если бы сила притяжения Солнца была хотя бы приблизительно равна электростатической силе. А последняя, несмотря на свою огромную величину, не производит во Вселенной разрушительного действия из-за того, что все её притяжения в точности уравновешиваются отталкиваниями. Всё вещество является смесью положительных протонов и

отрицательных электронов, притягивающихся и отталкивающихся с неимоверной силой. Но между зарядами этих частиц существует точный баланс, поэтому обычные тела не испытывают ни притяжения, ни отталкивания. Р. Фейнман приводит такой расчёт. Если бы в вашем теле или в теле вашего соседа, стоящего от вас на расстоянии вытянутой руки, электронов оказалось бы всего на 1 % больше, чем протонов, то сила вашего отталкивания была бы достаточно большой, чтобы поднять вес, равный весу Земли!



Вычислить, во сколько раз электростатическая сила превышает гравитационную, можно, измерив соотношение силы электрического отталкивания электронов (из-за того, что все они имеют одинаковый отрицательный заряд) и силы их взаимного притяжения (из-за того, что они имеют массу). Это отношение не зависит от расстояния между электронами и является одной из мировых констант. Оказывается, что сила притяжения равна силе отталкивания, разделённой на 10^{42}!

Проверьте свои знания

1. Что называется напряжённостью гравитационного (электростатического) поля?

2. В чём заключаются сходства и различия гравитационного и электростатического полей?

3. Что произошло бы, если бы сила гравитационного поля была такой же, как и сила электростатического?

4. Почему между электронами существуют как силы притяжения, так и силы отталкивания? Каково их приблизительное соотношение?

Задания

Объясните, почему обрывки бумаги из задания 2 к § 26 отрываются от стола и взлетают вверх.

§ 28 Движение электрических зарядов

После электричества совершенно бросил интересоваться природой. Неусовершенствованная вещь.

В. Маяковский

Само слово «электростатический» говорит о некой статике, т. е. неподвижности. Электростатическая сила – это та сила, с которой неподвижный заряд действует на другие заряды, находящиеся на расстоянии от него. Но мы знаем, что электрические заряды могут двигаться. Их движение называют электрическим током. При движении зарядов возникают дополнительные силы. Однако, прежде чем их обсуждать, вспомним основные законы ***электродинамики*** – науки об электрических зарядах.

Электрические заряды в виде протонов и электронов существуют во всех телах, однако они не всегда способны свободно передвигаться. Способность вещества проводить электрический ток определяется его ***проводимостью***. Противоположное проводимости свойство – ***сопротивление.*** Вещества, в которых движение электрических зарядов затруднено, обладают высоким сопротивлением и плохо проводят электрический ток. Их называют ***диэлектриками,*** или изоляторами. Вещества, в которых заряды могут свободно передвигаться, а прежде всего металлы, называют ***проводниками.*** Среднее положение между диэлектриками и проводниками занимают полупроводники, проводимость которых в большой степени зависит от температуры. Полупроводники широко используют в различных областях электронной техники. Многие химические элементы (кремний, германий и др.) и большое количество химических веществ являются полупроводниками.

Но для того чтобы по веществу проходил электрический ток, недостаточно, чтобы в нём были свободные заряды. Для приведения этих зарядов в движение требуется сила. Какая же сила может вызвать движение электрических зарядов? Очевидно, что это должна быть сила, создаваемая электростатическим полем и определяемая напряжённостью этого поля. Если в электростатическое поле поместить заряды, которые могут свободно перемещаться, то они будут двигаться вдоль вектора напряжённости от источника поля или к нему в зависимости от того, одинаковы или различны заряд источника и движущиеся

заряды. Это *упорядоченное движение заряженных частиц называют* ***электрическим током.*** Сила этого тока измеряется тем, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени. Единицей измерения силы тока является ***ампер (А).*** Если за 1 с переносится заряд, равный 1 Кл (одному кулону), то сила тока составляет 1 А.

В промышленных и бытовых устройствах, электрический ток течёт по проводникам, сделанным из металла. В металлических проводах свободными зарядами являются отрицательно заряженные электроны, движущиеся по направлению к положительному полюсу источника ***(аноду)***. Противоположный ему, отрицательный полюс источника называют ***катодом.*** Хотя в металлических проводах носителем тока в основном являются отрицательные электроны, в физике за направление тока принято движение положительных зарядов от «плюса» к «минусу» источника тока. Так получилось, потому что основополагающие работы по электродинамике были выполнены задолго до открытия электронов. Носителями электрического тока могут быть не только электроны, но и положительные или отрицательные ***ионы.*** Ионные токи часто наблюдаются в тех случаях, когда электростатическое поле возникает в жидкостях или газах.

Различие в напряжённости электрического поля в разных участках проводящей среды зависит от разности потенциалов или электрического ***напряжения.***

Рис. 72. Георг Симон Ом

Рис. 73. Алессандро Вольта

Рис. 74. Луиджи Гальвани

Эта величина измеряется в ***вольтах (В)***. Чем больше разность потенциалов между участками проводника, тем больше будет протекающий по нему ток. Но эта величина не определяется однозначно только разностью потенциалов, она зависит и от сопротивления среды, единицей измерения которого служит ***ом (Ом).*** В результате сила тока выражается формулой:

$I = U/R,$

где I – сила тока, U – разность потенциалов (напряжение), а R – сопротивление проводника. Этот закон был открыт немецким физиком **Георгом Омом** (1789–1854) и, так же как единица измерения сопротивления, назван его именем (рис. 72). Если на концах проводника создать разность потенциалов, а затем предоставить эту систему самой себе, то движение зарядов мгновенно выровняет эти потенциалы и электрический ток исчезнет. Поэтому, для того чтобы ток протекал постоянно, требуется поддерживать разность потенциалов на постоянном уровне. Для этого нужно действие внешней силы, которую называют ***электродвижущей силой.*** Приспособления, обеспечивающие поддержание разности потенциалов на концах провода, называют источниками питания. Первый источник питания был изобретён итальянским физиком **Алессандро Вольта** (1745–1827) (рис. 73). Его, как и его современника, земляка и постоянного научного оппонента **Луиджи Гальвани** (1737–1798) (рис. 74), в течение многих лет интересовал вопрос о том, как электрический угорь вырабатывает своё электричество. Гальвани считал, что это свойство присуще всем живым организмам, а Вольта пытался объяснить его с помощью химических процессов. Время показало, что правыми оказались оба исследователя. Гальвани открыл «животное электричество», о котором вы узнаете позже, а Вольта в результате многочисленных опытов заметил, что если в банку с кислотой опустить цинковую и медную пластинки и соединить их проволокой, то цинковая пластинка будет растворяться, а на медной станут выделяться пузырьки газа (рис. 75). Вольта показал, что по проволоке протекает электрический ток, который может поддерживаться в течение продолжительного времени. На основе этого эффекта он сконструировал первый в истории источник тока, состоящий из колец цинка и меди и сукна, пропитанного кислотой. Этот прибор имел форму столба и поэтому получил название вольтова столба, или, по иронии судьбы, гальванического столба – в честь Гальвани, постоянного научного оппонента Вольта. В настоящее время человечество использует во всевозможных приборах и механизмах самые разные источники питания.

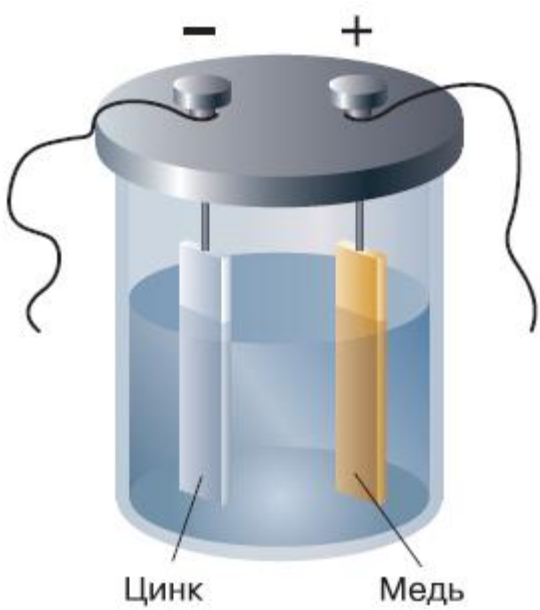


Рис. 75. Простейший элемент Вольта состоял из двух металлических пластин – медной и цинковой, опущенных в водный раствор серной кислоты.

Проверьте свои знания

1. Что такое проводники, диэлектрики и полупроводники?

2. Сформулируйте закон Ома и напишите его формулу.

3. Какие участки электрической цепи называются анодом и катодом?

4. Кто сконструировал первый источник электрического тока (питания)?

Задания

Электрическая цепь состоит из источника питания, анод и катод которого соединены участком, состоящим из диэлектрического материала. Известно, что сопротивление диэлектрика снижается в два раза при увеличении температуры на каждые 10 °C. Во сколько раз изменится сила тока в цепи, если её температура возрастёт на 30 °C, а разность потенциалов на концах цепи снизится в четыре раза?

§ 29 Электромагнитное поле

Жил в итальянском городе Амальфи бедный ювелир и инкрустатор по имени Флавио Джойя, который влюбился в Анджелу, дочь богатого рыбака Доменико. Но отец не хотел, чтобы Анджела вышла за «сухопутного» Джойя, и поставил влюблённому тяжёлое условие – научиться плавать в темноте и тумане по прямой линии. Такое условие представлялось совершенно невыполнимым, но Флавио проявил неслыханную изобретательность. В работе для инкрустирования маленькими кусочками железа он использовал магнитный камень. Как-то Флавио заметил, что, если положить этот камень на кусочек пробки, плавающей в воде, он поворачивается всегда в одну сторону. Так был изобретён компас, а Флавио женился на Анджеле.

Итальянская легенда

А теперь обратим внимание на проблему, связанную с движением заряженных частиц. Поскольку они имеют заряд, то, само собой разумеется, должны служить источником электрического поля. Только в этом случае поле уже не будет *электростатическим.* Такое поле называется ***электромагнитным.***

История открытия магнетизма.

Помимо притяжения мелких предметов к натёртому куску янтаря в древности хорошо знали ещё один вид притяжения. Ещё в Античности было известно, что кусок чёрного камня магнетита может притягивать к себе железо. Более того, он способен передавать данное свойство железу, делая его магнитом. Это

невероятное свойство, названное магнетизмом, вызывало бурю ярких фантазий, рассуждений о целебных достоинствах магнетита. О его магическом действии складывались легенды. Однако только в XI в. магнетизм получил практическое применение. К этому времени относятся первые упоминания о компасе. Считается, что компас был изобретён много раньше в Китае, но прямых сведений об этом не сохранилось. В Европу же его привезли, скорее всего, арабы. К XIV в. компас с подвижной розой (картушкой) получил широкое распространение (рис. 76). В «Божественной комедии» Данте есть строки, в которых упоминается стрелка (игла) компаса:

Раздался голос, взор мой понуждая
Оборотиться, как иглу звезда…

Однако природа магнетизма ещё долго оставалась неизвестной. Некоторые из первых исследователей высказывали мнение о его связи с электричеством, однако другие считали такое мнение предрассудком. Первая точка зрения подтвердилась в XVIII в., когда было обнаружено намагничивающее действие молнии, а затем и приборов, производящих электрические разряды.

Рис. 76. Первые упоминания о компасе относятся к XI в., а к XIV в. компас с подвижной розой (картушкой) уже получил широкое распространение

В 1820 г. **Ганс Христиан Эрстед** (1777–1851) описал результаты эксперимента, в котором было показано, что электрический ток, протекающий по проводнику, отклоняет магнитную стрелку компаса от её естественного направления на север. Эта сила, получившая название «поворачивающей», впервые оказалась не ньютоновской, её нельзя было связать ни с гравитацией, ни с инерцией и вообще ни с какой из известных в то время сил.

Исследование этого нового и необъяснимого явления начались немедленно. В том же году **Андре Мари Ампер** (1775–1836) (рис. 77) показал, что два параллельных проводника, по которым пропускается электрический ток, могут притягиваться или отталкиваться в зависимости от соотношения направлений токов: токи одного направления притягиваются, а разного – отталкиваются (рис. 78). При этом сила притяжения или отталкивания между проводниками прямо пропорциональна силе тока в них: чем больше – сила тока, тем сильнее взаимодействуют проводники.

Рис. 77. Андре Мари Ампер

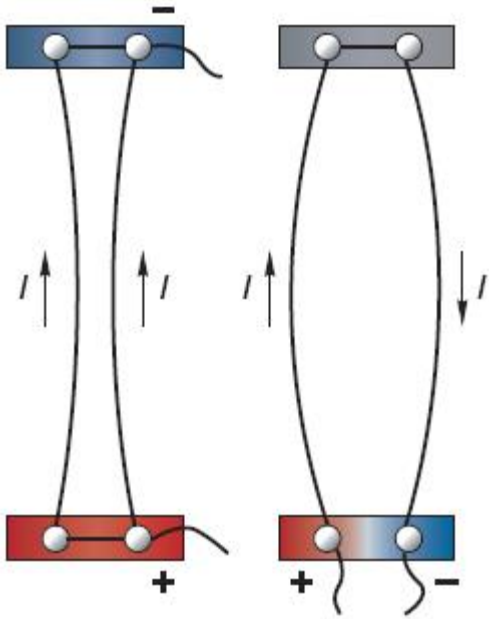


Рис. 78. Взаимодействие двух параллельных проводников с током

Отсюда напрашивался вывод, что такие проводники ведут себя подобно магнитам. На основании многочисленных исследований Ампер пришёл к выводу, что «все магнитные явления сводятся к чисто электрическим эффектам». Через два года он открыл магнитный эффект катушки с током, которую назвал соленоидом. В настоящее время соленоиды являются основой всех электромагнитов: проволочная катушка, по которой пропускают ток, ведёт себя как постоянный магнит, только сила её притяжения может быть намного больше. Заслуги Ампера в изучении электрических и магнитных явлений так велики, что его называли Ньютоном электричества. Так, понятия «электростатика» и «электродинамика» впервые предложены Ампером. Он же ввёл в обиход термины «электрический ток», «напряжение», «гальванометр» и даже… «кибернетика». В честь Ампера названа единица измерения электрического тока.

Магнитное поле.

Таким образом, выяснилось, что помимо электростатического существует ещё и магнитное поле, которое всегда возникает вокруг проводника, по которому движется электрический ток. Это поле, так же как и электростатическое, обладает силовой

характеристикой, которую называют магнитной индукцией. Она направлена перпендикулярно движению электрических зарядов и, следовательно, перпендикулярно электростатическому полю. Полная взаимосвязь этих полей была подтверждена в 1831 г., когда английский учёный Майкл Фарадей (1791–1867) (рис. 79) открыл явление ***электромагнитной индукции*** – возникновение электрического тока в замкнутом проводнике при изменении числа линий магнитной индукции сквозь его поверхность (рис. 80). Другими словами, если после опытов Эрстеда и Ампера было показано, что электричество способно вызывать магнитную силу, то после работ Фарадея было установлено, что существует и обратный эффект, т. е. была решена задача, которую Фарадей записал в своём дневнике: «Превратить магнетизм в электричество». В результате общепризнанной стала точка зрения, что электрические и магнитные поля представляют собой две стороны одного и того же поля, которое называют электромагнитным полем.

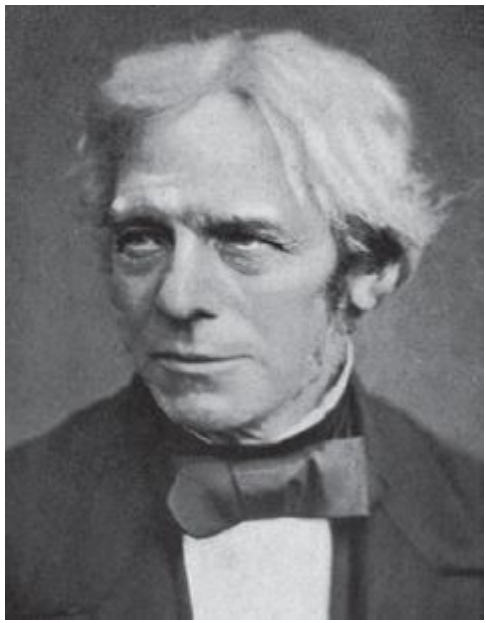


Рис. 79 Майкл Фарадей

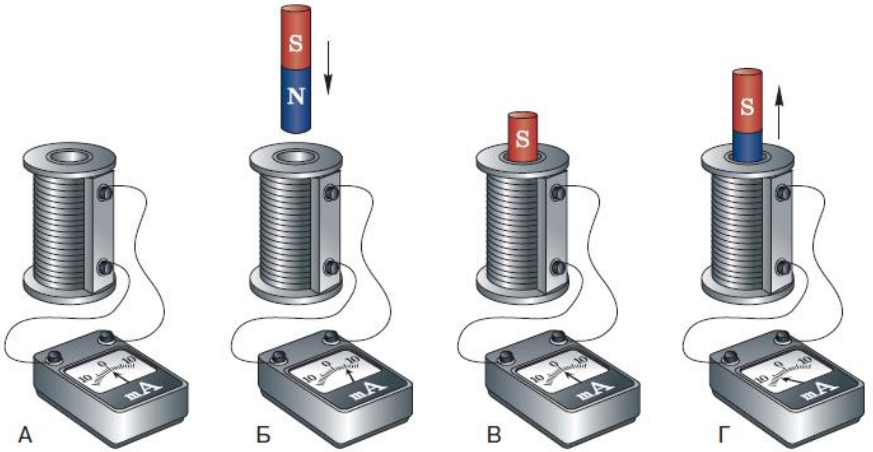


Рис. 80. Опыты Фарадея: А – катушка, состоящая из большого числа витков изолированного провода, подключена к гальванометру;

Б – при внесении в катушку полосового магнита стрелка гальванометра отклоняется, фиксируя появление электрического тока в цепи;

В – магнит останавливается, ток в катушке исчезает;

Г – при выдвижении магнита из катушки ток появляется, но его направление изменяется на противоположное

Магнитное поле, в отличие от электрического, не создаётся какими-либо зарядами. Магнитных зарядов не существует. Аналогом электрических зарядов в магнитном поле служат два полюса, один из которых называют северным, а второй – южным в честь компаса, побудившего к исследованиям магнетизма. Как и в случае с электрическими зарядами, одноимённые полюсы отталкиваются, а разноимённые – притягиваются. Но в отличие от электрических зарядов, магнитные полюсы не могут существовать друг без друга. В этом легко убедиться, распиливая железный магнит: как бы ни мала была отпиленная часть, у неё всегда будут северный и южный полюсы.

Магнетики.

Итак, магнитное поле возникает при движении электрических зарядов. Откуда же оно берётся в куске намагниченного железа или в так называемом постоянном магните? На этот вопрос попытался ответить ещё Ампер. Он предположил, что в каждой молекуле вещества циркулируют электрические токи, которые, складываясь, создают общее магнитное поле. В то время никто не

догадывался о существовании отрицательно заряженных электронов, поэтому гипотеза Ампера была гениальной догадкой. Теперь, когда мы знаем, что электроны обязательно входят в состав всех атомов, можно задать вопрос: почему не все вещества способны к намагничиванию? Оказывается, такой способностью обладают только некоторые вещества, называемые ***ферромагнетиками*** (от лат. ferrum – железо). К ним относится не только железо, но также никель, кобальт и их сплавы. Способность к намагничиванию зависит от строения атомов этих металлов. Вращаясь вокруг ядра атома и вокруг своей оси, электроны создают крошечные «магнитики», называемые магнитными диполями. Если тело не находится во внешнем магнитном поле, эти «магнитики» ориентированы во всех направлениях и их суммарное поле равно нулю. Если же оно попадает во внешнее поле, например соприкасается с куском магнетита, его атомы поворачиваются под влиянием магнитной силы и их элементарные магнитные поля складываются. Таким образом, тело приобретает свойства магнита. Для того чтобы «размагнитить» тело, надо нагреть его до достаточно высокой температуры, чтобы хаотическое движение атомов вернуло начальный беспорядок.

Кроме ферромагнетиков существуют ***парамагнетики,*** которые проявляют свойства магнита, только находясь во внешнем магнитном поле, а после прекращения его действия немедленно теряют эти свойства. Парамагнетиками являются алюминий, платина, оксид марганца и многие другие соединения. Наконец, существует ещё группа веществ, называемых ***диамагнетиками.*** Они также не обладают магнитными свойствами при отсутствии внешнего магнитного поля, но обладают свойством поворачивать свои атомы противоположно внешнему магнитному полю. К диамагнетикам относятся, например, вода, поваренная соль, водород и азот.

Проверьте свои знания

1. Что такое электромагнитная индукция?

2. С помощью какого опыта Эрстед впервые обнаружил электромагнитное поле?

3. Каким образом Ампер объяснил природу электромагнитного поля?

4. Чем ферромагнетики отличаются от парамагнетиков?

Задания

Проведите несколько опытов.

1. Положите на стол, находящийся вдали от электроприборов, компас и зарисуйте положение его стрелки. Положите рядом с ним другой компас, а лучше расположите несколько компасов в ряд. Пронаблюдайте, что произойдёт, и объясните полученный результат.

2. Подносите к крайнему в ряду компасу постоянный магнит то южным, то северным полюсом. Объясните полученные результаты.

3. Если у вас в школе имеется соленоид, подключите его к источнику питания и подносите по очереди различными участками к компасу. Объясните результаты наблюдений.

§ 30 Электромагнитные волны

Луч, пронзивши эфир,
На земле обернётся
Целой армией бликов…

М. Величка

Как вы узнали из предыдущего параграфа, Фарадеем было открыто явление электромагнитной индукции. Но мы знаем, что внешнюю силу, вызывающую в проводнике ток, называют электродвижущей силой (ЭДС). Следовательно, движение проводника относительно магнитного поля (или движение магнитного поля относительно проводника) приводит к возникновению ЭДС. Благодаря этой силе в проводнике возникнет ток, который, как нам тоже уже известно, будет создавать вокруг себя магнитное поле.

В учебнике физики для 9 класса описывается принцип работы колебательного контура. Суть его в общих чертах такова. Существует электрическая цепь, в которой находится конденсатор, на котором имеется разность потенциалов, и катушка, состоящая из многих витков электрического проводника. Конденсатор разряжается, по цепи течёт ток, который, проходя через катушку, создаёт в ней магнитное поле. Под действием этого поля в цепи возникает ЭДС, вызывающая движение зарядов в противоположном направлении. Когда это движение становится достаточно сильным, суммарное направление тока в сети изменяется и конденсатор снова заряжается. Затем весь процесс повторяется сначала и в контуре возникают периодические колебания электрического заряда и электрического тока.

Но мы знаем, что во многих случаях возникшие в какой-то точке колебания могут из неё распространяться в пространстве, вызывая волновые процессы. Возможно ли это в случае электромагнитных колебаний?

Существование электромагнитных волн теоретически предсказал великий британский физик **Джеймс Клерк Максвелл** (1831–1879). Он же разработал систему математических уравнений, описывающих их распространение. Максвелл предположил, что любые изменения электрического или магнитного поля должны вызывать изменения в напряжённости и магнитной индукции в соседних областях. Для этого не требуется наличия каких-либо электрических зарядов (электронов, ионов и

т. п.). Просто изменяющееся поле создаёт другое изменяющееся поле, то, в свою очередь, новое поле, и в результате в пространстве распространяется электромагнитная волна. Эта волна является поперечной, и для неё справедливы все характеристики, которые свойственны другим волнам. Мы можем описать электромагнитную волну с помощью её скорости, амплитуды, длины и частоты колебаний, как об этом говорилось в § 23.

На основании своих расчётов Максвелл пришёл к выводу, что электромагнитные волны распространяются не мгновенно, а с некоторой, хотя и очень большой, скоростью. Ему удалось вычислить эту скорость. Она составила $3 \cdot 10^{10}$ см/с или 300 000 км/с, что оказалось величиной, очень близкой к скорости света, которая за несколько лет до того была измерена французским физиком А. Физо. Исходя из этого, Максвелл пришёл к выводу, что свет представляет собой электромагнитную волну.

Природа электромагнитных волн, однако, вызывала большие недоумения. Несмотря на математическую изящность уравнений Максвелла, представленные им физические подтверждения были неубедительны. Главная проблема заключалась в том, что все прочие известные волны распространяются в какой-либо среде: газах, жидкостях или твёрдых телах. Для электромагнитных волн Максвелл придумал искусственное объяснение с использованием гипотетической среды, которое не убедило физиков. На самом деле для распространения света *не нужно ничего*. В этом легко убедиться, если поместить электрическую лампочку под герметический стеклянный колокол, из которого затем начать откачивать воздух (рис. 81). Каким бы разреженным ни становился воздух под колоколом, лампочка будет гореть так же ярко, как и вначале. В то же время, если вместе с лампочкой мы поместим под колпак звонок, то очень скоро перестанем слышать его звучание. Это показывает, что свет может распространяться и в вакууме.

Рис. 81. Если мы поместим электрическую лампочку под герметический стеклянный колокол и откачаем из-под него воздух, то лампочка будет гореть так же ярко, как и вначале. Однако если вместо лампочки мы поместим под колокол звонок, то очень скоро перестанем слышать его звучание

Но если свет представляет собой колебания, то что же именно колеблется? Представить себе колебания без материального посредника физики позапрошлого века не могли. Поэтому, как мы уже говорили, они придумали для объяснения распространения электромагнитных колебаний специальную среду, которую называли эфиром. Считалось, что эфир повсюду однороден и целиком заполняет собой любое вещество, а также

вакуум. За это его назвали «мировым эфиром». Никто не объяснял его природы, но все считали, что свет представляет собой колебания эфира, так же как другие волны представляют колебания вещества. От гипотезы мирового эфира физикам пришлось отказаться в начале прошлого века, о чём вы узнаете из следующей главы.

Рис. 82. Генрих Герц

Впервые экспериментально подтвердил теорию Максвелла **Генрих Герц** (1832–1918) в 1888 г. (рис. 82). С помощью сконструированного им прибора он доказал, что колебания тока вызывают в пространстве волны. Эти волны состоят из двух колебаний – напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля, – направленных перпендикулярно друг другу. Кроме того, направления этих колебаний перпендикулярны направлению распространения волны. Герцу удалось определить длину волны, испускаемой его прибором, и измерить скорость её распространения. Эта скорость совпала со скоростью распространения света. Результаты экспериментов Герца полностью подтвердили правильность уравнений Максвелла, что привело к всеобщему признанию этой теории.

В дальнейшем были разработаны методы исследования, а также способы получения электромагнитных волн с разной длиной волны и, соответственно, с разной частотой колебаний. В своё время Герц, открывший электромагнитное излучение, признавал, что это интереснейшее явление никогда не сможет найти практического применения. Сейчас трудно представить

себе область человеческой деятельности, где бы не использовались электромагнитные волны – от изучения строения атома до исследования галактик, от медицины до космической связи.

Проверьте свои знания

1. Вспомните и опишите работу колебательного контура.

2. Кто из физиков впервые разработал теорию электромагнитных волн?

3. С какой скоростью распространяются электромагнитные волны?

4. С какой целью было придумано понятие «мировой эфир»?

§ 31 Виды электромагнитных волн

В зависимости от частоты колебаний электромагнитные волны оказывают различное действие на организм человека и используются для различных технических целей. Диапазон этих частот называют ***спектром электромагнитного излучения,*** он огромен – от нескольких десятков тысяч до 10^{20} Гц (табл. 5).

Соответственно, длина электромагнитной волны может составлять от десятков километров до тысячных долей нанометра. Человек без помощи приборов может воспринимать лишь очень небольшую часть электромагнитного спектра, которую называют ***видимой частью*** этого спектра или его световым диапазоном (рис. 83). Светочувствительные клетки глаза реагируют на попадающее в глаз излучение, находящееся в световом диапазоне, и превращают его в ощущение света.

Таблица 5

Длина волны и частота электромагнитного излучения в различных диапазонах

Название диапазона	Длины волн	Частоты
Сверхдлинные радиоволны	Более 10 км	Менее 30 кГц
Длинные радиоволны	10 км—1 км	30 кГц—300 кГц
Средние радиоволны	1 км—100 м	300 кГц—3 МГц
Короткие радиоволны	100 м—10 м	3 МГц—30 МГц
Ультракороткие радиоволны	10 м—1 мм	30 МГц—300 ГГц
Инфракрасное излучение	1 мм—780 нм	300 ГГц—430 ТГц
Видимое излучение	780—380 нм	430—750 ТГц
Ультрафиолетовое излучение	380—10 нм	10^{14}—10^{16} Гц
Рентгеновское излучение	10—0,005 нм	10^{16}—10^{19} Гц
Гамма-излучение	Менее 0,005 нм	Более 10^{19} Гц

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц
Фиолетовый	380—440	790—680
Синий	440—485	680—620
Голубой	485—500	620—600
Зелёный	500—565	600—530
Жёлтый	565—590	530—510
Оранжевый	590—625	510—480
Красный	625—740	480—400

Рис. 83. Спектр видимого излучения

Причём в зависимости от длины волны мы можем воспринимать различные цвета. Самые короткие волны вызывают ощущения фиолетового света, затем, по мере увеличения длины волны, возникают ощущения голубого, синего, зелёного, жёлтого, оранжевого и красного цвета. В точности с фразой для запоминания видимого спектра: «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан».

В других областях спектра электромагнитное излучение невидимо для человеческого глаза. Излучение, длина волны которого немного больше, чем в видимой области, называют ***инфракрасным.*** Мы тоже можем воспринимать его, но уже не как свет, а как тепло. Существуют приборы, способные реагировать на инфракрасное излучение; на фотографиях, сделанных с их помощью, горячие предметы будут выглядеть тёмными, а холодные – светлыми. Сфотографировав комнату зимой, мы увидим чёрные радиаторы отопления и белые окна. Мы также различим на фоне стен фигуры людей и животных, так как температура их тел выше, чем температура окружающих предметов (рис. 84). Некоторые змеи способны видеть в инфракрасной области и, благодаря этому, находить в темноте мышей, на которых они охотятся.

Волны с ещё большей длиной волны называют ***радиоволнами***.

Так как их диапазон сам по себе огромен, он делится на несколько областей. Наиболее широко в настоящее время используются ***ультракороткие волны,*** которые, в свою очередь, бывают метровыми, дециметровыми, сантиметровыми и миллиметровыми.

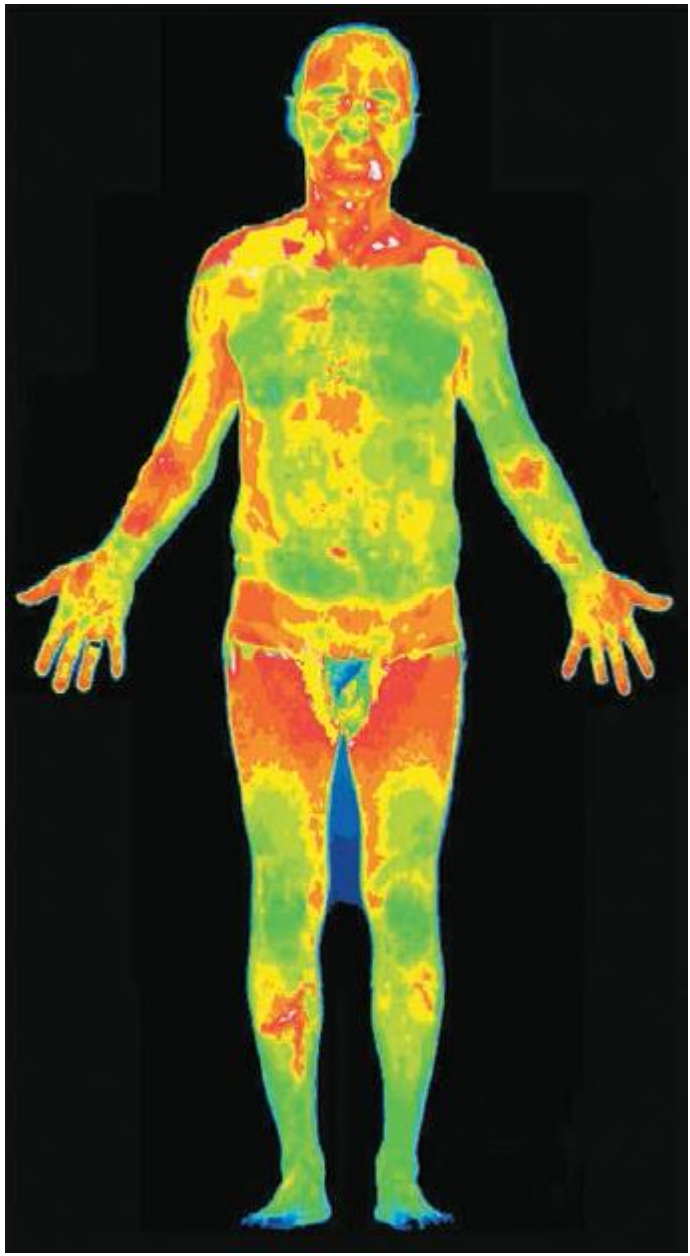


Рис. 84. На регистрации инфракрасного излучения основана работа тепловизоров – приборов для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Инфракрасное излучение в приборе преобразуется в электрический сигнал. Распределение температуры отображается на дисплее тепловизора как цветовое поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет

Они используются для радио– и телевизионных передач, в

мобильных телефонах, в медицинских и астрономических исследованиях и во многих других областях, о чём будет рассказано в следующих главах учебника. В радиотехнике для различных видов связи используют также ***короткие, средние, длинные и сверхдлинные радиоволны.*** Последние обладают очень низкой частотой и, соответственно, большой длиной волны. В природе они возникают во время разрядов молнии. Сверхдлинные волны слабо затухают по мере их распространения и являются очень устойчивыми по амплитуде. Благодаря этому, их широко используют в глобальных радиосистемах для связи на больших расстояниях. Кроме того, эти волны глубоко проникают в воду и в толщу Земли, что позволяет использовать их для связи с подводными и подземными объектами.

Если теперь от видимого света сдвинуться в область более коротких волн, то ближайшую часть спектра займёт ***ультрафиолетовое излучение.*** Человеческий глаз это излучение не воспринимает, но некоторые животные, например пчёлы, видят его достаточно хорошо.

Следующую, ещё более коротковолновую, область электромагнитного спектра называют ***рентгеновским излучением.*** Его открыл в 1895 г. немецкий физик **Вильгельм Конрад Рентген** (1845–1923), обнаружив существование невидимого излучения, которое он назвал Х-лучами. Лучи Рентгена обладают способностью глубоко проникать в предметы и вещества. Благодаря этому их используют для исследования внутреннего строения всевозможных объектов: человеческого тела, кристаллов, древних произведений искусства и многого другого (рис. 85). За своё открытие Рентген был награждён первой в истории Нобелевской премией по физике.

Наконец, самое коротковолновое и, следовательно, самое высокочастотное излучение называют ***гамма-излучением.***

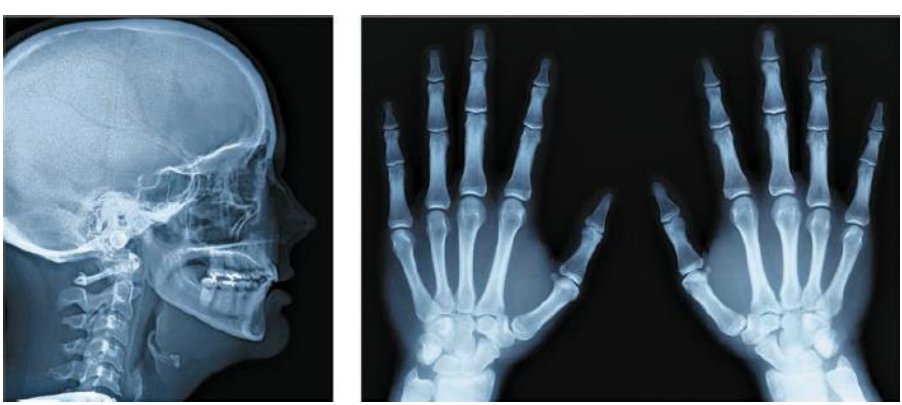


Рис. 85. Рентгеновские снимки

Оно возникает при радиоактивном распаде атомных ядер и превращениях элементарных частиц.

Необходимо обратить внимание на одну очень важную закономерность. Чем больше частота электромагнитного излучения (или чем меньше длина его волны), тем большей энергией оно обладает. Если радиоволны и видимый свет при умеренной интенсивности не оказывают вредного влияния на человека, то уже ультрафиолетовые лучи могут вызвать ожоги и при достаточно длительном воздействии привести к возникновению опухолей. Рентгеновские лучи несут в себе достаточно серьёзную опасность. Конечно, медицинское рентгеновское обследование, проводимое один-два раза в год, такой опасности не представляет, но у врача-рентгенолога, включающего в своём кабинете аппарат много раз в день, оно может вызвать серьёзные заболевания. Поэтому врач, перед тем как включить рентгеновскую установку, удаляется в специальное укрытие, куда излучение не проникает. Наиболее разрушительное действие оказывает гамма-излучение, которое может вызвать неизлечимую лучевую болезнь и даже смерть в течение нескольких минут, так называемую «смерть под лучом». Подробнее о природе света и других видов электромагнитного излучения вы узнаете из следующей главы.

Проверьте свои знания

1. Как называются виды электромагнитного излучения, частота которых немного выше и немного ниже частоты излучения видимой части электромагнитного спектра?

2. Какие электромагнитные волны используют для установления связи на больших расстояниях?

3. Для каких целей используют рентгеновское излучение?

4. Как зависит энергия излучения от его частоты?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Расположите виды электромагнитного излучения в порядке увеличения длины их волны: а – рентгеновское, б – жёлтое, в – гамма, г – ультрафиолетовое, д – зелёное, е – радиоволны, ж – инфракрасное.

3. Рассмотрите рисунок 84. Предположите, какой цвет

соответствует максимальной, а какой – минимальной температуре поверхности человека.

4. С 2008–2009 гг. тепловизоры, регистрирующие инфракрасное излучение, начали активно использовать в аэропортах и на железнодорожных вокзалах для выделения из толпы определённых людей.

Обсудите в классе и предположите, кого именно и с какой целью ищут среди толпы с помощью тепловизора.

5. Вспомните, что означают приставки системы СИ (н, м, к, М, Г, Т) в единицах измерения, указанных в таблице 5.

§ 32 Общие свойства волн

Эффект Доплера: длина волны света, исходящего от приближающегося объекта, кажется короче, чем от удаляющегося.

– Как это можно пронаблюдать?

– Когда поедете вечером на машине, заметьте, что от машин, приближающихся к вам, идёт белый свет, а от удаляющихся – красный.

Шутка физиков

Интерференция

Рассмотрим, что произойдёт в какой-либо точке, если к ней одновременно придут две волны от двух различных источников (рис. 86). Неважно, какова будет природа этих волн, они могут быть звуковыми, электромагнитными или волнами на поверхности воды. Результат от этого не изменится. Предположим, что обе волны имеют одну и ту же частоту. Тогда амплитуда волны в точке их встречи будет зависеть от того, в какой фазе они туда придут. Если встретятся две вершины, то получится вершина с удвоенной амплитудой, если две впадины – впадина с удвоенной амплитудой. А если в точку придёт вершина от одной волны и одновременно с ней впадина от другой, то они взаимно погасят друг друга. Таким образом, если в точку всегда будут приходить волны в одинаковой фазе, мы получим в ней колебание с той же частотой, но с двойной амплитудой. Если же волны будут поступать в противофазе, мы вообще не получим в этой точке никаких колебаний. Конечно, между двумя этими крайними случаями существует много промежуточных. Результат сложения волн называют их ***интерференцией.*** В общем случае, если волны от двух источников встречаются в разных точках в различных фазах, то мы будем в некоторых местах наблюдать усиление волны, а в других её ослабление, т. е. увидим картину чередования минимумов и максимумов амплитуды волны, которая называется ***интерференционной картиной.***

В некоторых случаях можно наблюдать интерференцию звуковых волн. Если на вращающейся доске укрепить два приспособления, издающие звук одной частоты, то, постепенно

поворачивая доску, можно будет услышать, как звук становится то громче, то тише. Это происходит потому, что расстояние между источниками звука и вашим ухом меняется и звуковые волны иногда доходят до уха в совпадающих фазах, а иногда в противоположных. Соответственно их амплитуды или складываются, или вычитаются.

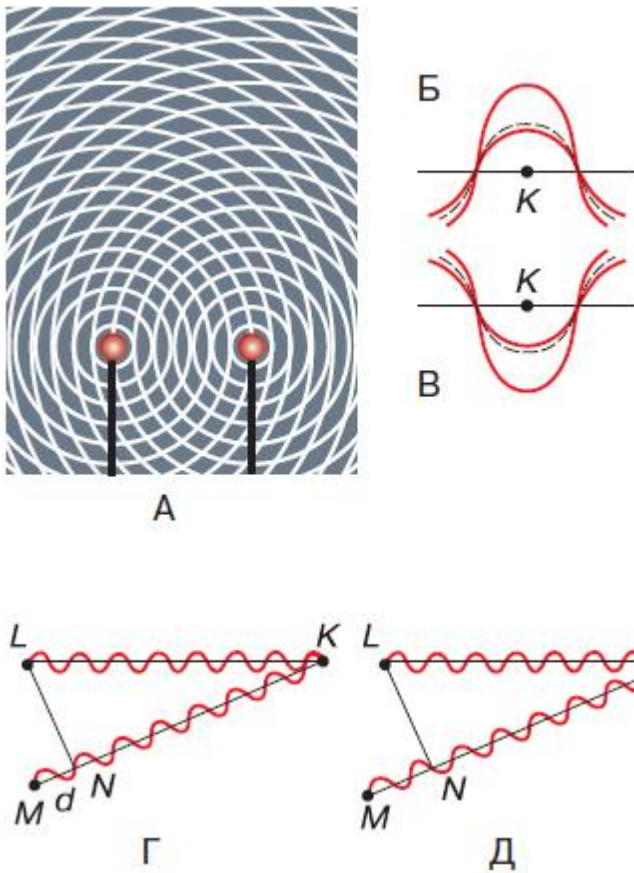


Рис. 86. Два источника колеблются с одинаковой частотой; в любую точку на поверхности воды приходят одновременно две волны (А). Если в точку *K* поверхности воды придут две волны, вершины которых совпадают, произойдёт усиленный подъём воды (Б). Для этого нужно, чтобы на отрезке *MN* укладывалось целое число (d) длин волн (Г). Затем вершины в точке *K* одновременно сменятся впадинами, и вода сильно опустится (В). Это будет в том случае, если на отрезке *MN* уложится нечётное число полуволн (Д)

Дифракция.

Помимо интерференции волны обладают ещё одним свойством: они могут огибать небольшие препятствия, встречающиеся на их пути. «Небольшие» означает, что эти препятствия должны ненамного превышать длину набегающей на них волны. Всем известно, что даже мелкие предметы отбрасывают тень, т. е. свет, встречая их на своём пути, не проходит дальше. В то же время, для того чтобы воспрепятствовать распространению звука, требуется предмет больших размеров, например гора или большой дом. Длина звуковой волны в среднем равна нескольким метрам, что вполне соизмеримо с небольшими домами или другими предметами. Поэтому такие предметы не мешают слышать, что происходит за ними, т. е. не отбрасывают звуковой «тени». Явление огибания препятствий распространяющимися волнами называют ***дифракцией.***

Дифракцию можно наблюдать, поставив на пути распространения волн в бассейне или расположив против луча света экран с маленьким отверстием. Пройдя через отверстие, волны не продолжают своего движения прямолинейно, а расширяются, т. е. отверстие как бы порождает новые волны. Происходит это из-за того, что волны не упираются в края отверстия, а огибают их. Если отверстие сделать достаточно малым, то оно будет вести себя в точности как новый источник волн. Наблюдая за распространением света, итальянский физик и астроном **Франческо Гримальди** открыл в XVII в. явление дифракции и дал ему это название. Именно он впервые предположил, что свет является волной:

> *«Как вокруг камня, брошенного в воду, образуются волны, так и препятствие, помещённое на пути света, порождает в световом флюиде волны, отклоняющиеся за отверстием».*

Он же впервые высказал предположение о связи цветного зрения с частотой колебания света.

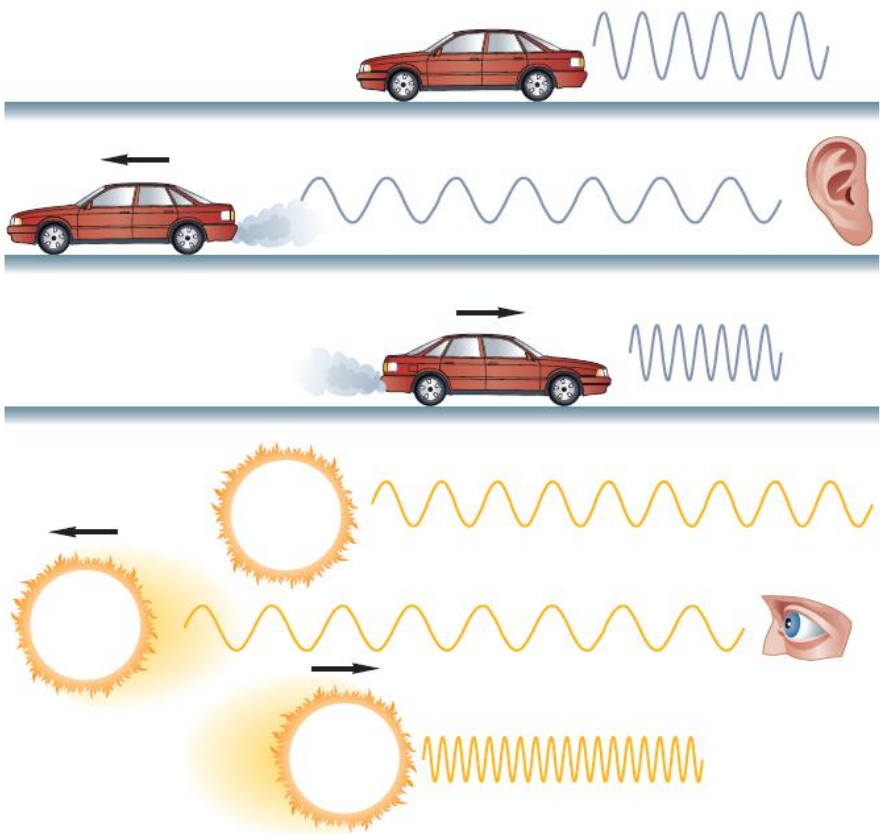


Рис. 87. Эффект Доплера (пояснения в тексте)

Эффект Доплера

Существует ещё одно явление, характерное для всех волн и имеющее большое практическое значение. Это явление называют ***эффектом Доплера*** (рис. 87) в честь предсказавшего его в 1842 г. австрийского физика **Кристиана Доплера** (1803–1853), изучавшего движение тел – источников звука или света.

Вспомните, когда проносящийся мимо вас поезд или машина с сиреной достигают ближайшей к вам точки, а затем начинают удаляться, вы слышите, как высота издаваемого ими звука резко снижается. Это происходит потому, что от источника звука в вашем направлении движутся звуковые волны. Когда издающий звук предмет приближается к вам, каждая следующая волна возникает в более близкой к вам точке, чем предыдущая. Поэтому она достигает ваших ушей чуть раньше, чем если бы источник звука был относительно вас неподвижен. Волны как бы

сжимаются, приобретая более высокую частоту, чем изначально издаваемый звук. И наоборот, когда поезд или автомашина удаляются от вас, каждая следующая волна запаздывает по отношению к предыдущей и воспринимаемая слухом звуковая волна снижает свою частоту, в результате звук воспринимается как более низкий.

Эффект Доплера остаётся справедливым и для электромагнитных волн. В частности, он используется в радарных устройствах, применяемых сотрудниками инспекции дорожного движения для определения скорости автомобилей. Пистолет-радар излучает сигнал в области ультракоротких радиоволн, который отражается от металлического кузова машины и поступает обратно на радар, но уже с доплеровским изменением частоты. Зная разницу между частотой, испущенной радаром, и частотой, им принятой, прибор точно определяет скорость автомобиля и показывает её на экране.

Доплером было показано, что при приближении источника света к наблюдателю частота световых колебаний представляется ему больше, чем при неподвижном источнике, т. е. цвет излучения смещается в сторону ультрафиолета. Если же источник удаляется от наблюдателя, то цвет смещается в красную сторону спектра. В дальнейшем методы, основанные на эффекте Доплера, стали широко применяться в астрофизике для изучения движения звёзд. Этот эффект является причиной красного смещения, с помощью которого было установлено, что Вселенная расширяется и галактики разбегаются. Открытие красного смещения принципиально изменило взгляды на происхождение и эволюцию Вселенной, о чём будет рассказано в дальнейшем.

Проверьте свои знания

1. Какие процессы могут происходить в результате интерференции?

2. Как называется явление огибания препятствий распространяющимися волнами?

3. На основании какого явления Франческо Гримальди в XVII в. предположил, что свет обладает волновыми свойствами?

4. В чём проявляется эффект Доплера?

Задания

Налейте в широкий плоский сосуд немного воды. Погрузите в

воду возле одной из стенок сосуда две палочки и постепенно покачивайте ими по очереди или одновременно с различной частотой. Пронаблюдайте, как будет изменяться картина распространения волн по сосуду.

§ 33 Потенциальная энергия

Энергия

Теперь, познакомившись с основными физическими явлениями и процессами, мы приступим к изучению самой основной и фундаментальной проблемы физики, можно сказать, самой её сути. Эту суть называют ***энергией.*** Для того чтобы в мире хоть что-нибудь происходило, требуется её «вмешательство». Один из основных законов физики – ***закон сохранения энергии*** – утверждает, что существует определённая величина, называемая энергией, которая никогда и ни при каких обстоятельствах не изменяется. Однако этот закон справедлив только для изолированных систем, т. е. для тех случаев, когда энергия не поступает в систему извне и не выходит из неё наружу. По типу изолированности от внешней среды все системы можно разделить на три типа (рис. 88).

1. ***Открытые*** системы обмениваются с внешней средой веществом и энергией.

2. ***Закрытые*** системы обмениваются с внешней средой только энергией, но не веществом.

3. ***Изолированные*** системы не обмениваются с внешней средой ни энергией, ни веществом.

Кастрюля с кипятком без крышки – это открытая система, так как кастрюля будет остывать и вода из неё будет испаряться. Если эту кастрюлю закрыть крышкой, то она станет закрытой системой, поскольку остывать она всё равно будет, но количество воды в ней будет оставаться неизменным. И наконец, если закрытую кастрюлю завернуть в четыре ватных одеяла, то она, хотя и с некоторой натяжкой, станет изолированной системой.

Закон сохранения энергии утверждает, что в изолированной системе энергия всегда и при любых обстоятельствах останется неизменной, что бы в этой системе ни происходило. Если же мы обнаружим, что энергия в ней уменьшилась или увеличилась, значит, наша система не совсем изолированная, и это изменение сопровождается, соответственно, увеличением или уменьшением энергии где-то в другом месте.

Рис. 88. Открытая (А), закрытая (Б) и изолированная (В) системы

Энергия представляет собой меру движения всего, что существует в мире. Если тело движется или при определённых условиях способно самостоятельно двигаться, значит, оно обладает энергией. Под влиянием действующих сил энергия тела изменяется, и при этом тело совершает работу. Если какое-либо тело или система *А* действует с некой силой на тело или систему В, то оно совершает над ним работу. При этом энергия *А* уменьшается, а энергия *В* ровно на столько же увеличивается.

Обычно в физике знакомство с энергией начинают с изучения ***механической работы*** и ***механической энергии***. В механике под ***работой*** понимают *произведение действующей силы на расстояние, пройденное телом под действием этой силы.* Однако часто это определение наталкивается на непонимание. Допустим, нам надо передвинуть шкаф на 5 м. Для того чтобы это сделать, требуется приложить силу. Затем, умножив эту силу на расстояние, мы определим произведённую работу. Но возникает

два вопроса. Во-первых, чем определяется сила, которую надо приложить к шкафу? Ясно, что она зависит от массы шкафа, но также ясно, что однозначно она ею не определяется: ведь толкать шкаф по гладкому полу значительно легче, чем по ворсистому ковру. Во-вторых, двигая шкаф, мы, без всякого сомнения, затрачиваем энергию. Но куда она девается? Ведь, оказавшись в другом углу комнаты, шкаф не приобретает никакой дополнительной энергии и в этом смысле его положение ничем не отличается от прежнего. Как видите, на бытовом уровне разобраться с этой проблемой трудно. Поэтому попытаемся подойти к ней более строго.

В тех же учебниках физики вводят понятия ***потенциальной*** и ***кинетической энергии.*** Механическая энергия представляет собой частный случай энергии вообще. Кроме неё существуют и другие виды энергии, например тепловая, электрическая, ядерная и др. Для всех видов энергии справедлив закон сохранения энергии: что бы ни происходило в системе (если, конечно, она изолирована и её запас энергии не пополняется и не убывает), сумма её потенциальной и кинетической энергии будет оставаться постоянной.

Потенциальная энергия.

Потенциальная энергия системы зависит от взаимного расположения частей внутри неё. Для примера рассмотрим потенциальную энергию, которая имеется у всех предметов, находящихся на Земле. Мы знаем, что на все предметы действует сила притяжения Земли, называемая силой тяжести. Она зависит от массы предмета, массы Земли и от расстояния между ними, но поскольку последние две величины практически всегда одинаковы, можно считать, что сила тяжести определяется массой тела. Если взять в руку какой-либо предмет, поднять его над Землёй на высоту, скажем, один метр, а затем разжать пальцы, то он будет падать, пока не достигнет того участка поверхности Земли, который находится под ним. Значит, когда предмет находится над Землёй, он обладает потенциальной энергией, которая может перейти в его кинетическую энергию. Потенциальная энергия тела, поднятого над Землей, равна, как вам известно, mgh, где m – масса тела, g – ускорение свободного падения, а h – высота, на которой тело находится. Кинетическая энергия падающего тела равна, как вы также знаете, $mv^2/2$. Когда предмет достигнет поверхности земли, его потенциальная энергия станет равной нулю. Напомним, что единицей измерения

энергии является ***джоуль (Дж).***

Не совсем, впрочем, понятно, от какого уровня измеряется высота. Если мы находимся на третьем этаже дома, то чему равна высота, на которой находится взятый нами предмет. Одному метру от пола? Или десяти метрам от Земли? А если под окном у нас вырыть котлован? Как измерить потенциальную энергию предмета? Строго говоря, высоту надо отсчитывать от центра Земли, где равнодействующая всех сил тяготения равна нулю. Но обычно в практических целях мы при определении потенциальной энергии условно отсчитываем высоту от уровня пола или любой поверхности, которая в данном случае считается пределом падения. Она называется *нулевым уровнем потенциальной энергии.* Для того чтобы вернуть тело с пола на первоначальную высоту, надо затратить точно такую же энергию, иначе говоря, произвести работу, равную его исходной потенциальной энергии. Эта работа тоже будет равна *mgh.*

Точно так же обстоит дело с энергией, обусловленной электрическими силами. Если заряженная частица притягивается к другой заряженной частице, то при её движении *совершается* работа, равная произведению действующей на неё электростатической силы на проходимый ею путь. Для того чтобы удалить разноимённо заряженные частицы на некоторое расстояние друг от друга, требуется *совершить* такую же работу. В этом случае мы имеем дело уже не с гравитационной, а с ***электрической потенциальной энергией.*** Эта энергия используется в работе многочисленных машин и приборов.

Проверьте свои знания

1. Что такое открытые, закрытые и изолированные системы?
2. Как определяется механическая работа?
3. Чем определяется потенциальная энергия системы?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Налейте в три одинаковых стеклянных или керамических стаканчика по одинаковому количеству горячей воды. Измерьте температуру воды в каждом стаканчике и взвесьте их. Убедитесь в том, что температура воды в каждом стаканчике и их массы одинаковы. Затем оставьте один стаканчик открытым, второй накройте крышкой, а третий накройте такой же крышкой и

заверните в шерстяную ткань. Через 15 мин вновь измерьте массу стаканчиков и температуру воды в них. Объясните различия, полученные в результате измерений.

3. Камень массой 10 кг был поднят на крышу дома, для чего пришлось совершить работу, равную 5000 Дж. После этого камень упал на крышу сарая, высота которого в 5 раз меньше, чем высота дома. Какой потенциальной энергией теперь обладает камень?

§ 34 Кинетическая энергия

Попал физик в больницу после автокатастрофы. Лежит и бредит:

– Хорошо, что пополам. Хорошо, что пополам. Хорошо, что пополам.

– Что пополам? – спрашивает врач.

– Хорошо, что кинетическая энергия Эм-Вэ-Квадрат ПОПОЛАМ!!!

Анекдот

Итак, когда тело падает с высоты, его потенциальная энергия постоянно уменьшается, потому что постоянно уменьшается его высота над поверхностью Земли. Но мы только что говорили о том, что энергия в изолированной системе не может изменяться. Куда же пропадает потенциальная энергия в системе «Земля – предмет»? Дело в том, что, как только тело начинает двигаться, оно приобретает ***кинетическую энергию,*** в которую и переходит его потенциальная энергия. Сумма этих энергий во всех случаях остаётся постоянной.

Кинетическая энергия тела зависит от его массы и скорости, с которой оно движется. Математически кинетическая энергия выражается как $E = mv^2/2$. Можно убедиться в том, что при падении сумма потенциальной и кинетической энергий падающего тела не изменяется. Если высота, на которой находится предмет, снизится на величину h, то уменьшение его потенциальной энергии будет равно произведению силы тяжести на пройденное им расстояние, т. е. mgh. Но под действием силы тяжести предмет движется равноускоренно с ускорением g. В физике доказывается, что путь, пройденный при таком движении за время t, равен:

$h = gt^2/2$.

Значит, расстояние h тело пролетит за время $t = \sqrt{2gh}$. Двигаясь равноускоренно, тело приобретёт за это время скорость $v = gt = g\sqrt{2gh}$. Его кинетическая энергия, следовательно, будет равна $mv^2/2 = mgh$. Это как раз и есть та величина, на которую уменьшилась потенциальная энергия. А это означает, что суммарная энергия падающего тела не изменилась. Если первоначальная высота, на которой находилось тело, была h, то кинетическая энергия этого тела в момент падения будет равна mgh, т. е. его начальной потенциальной энергии.

Но вот тело достигло низшей точки, потеряв всю свою потенциальную энергию. Что будет с ним дальше? Для начала рассмотрим колебание маятника, с которым мы познакомились в предыдущих параграфах. Отведём маятник в сторону, а затем отпустим (рис. 89). Поскольку он находится в поле притяжения Земли, он обладает потенциальной энергией, за счёт которой начнёт движение вниз. Когда он достигнет самой низкой точки, его потенциальная энергия будет исчерпана, но он продолжит движение, набирая при этом высоту. Причиной этого является кинетическая энергия, в которую во время движения вниз перешла его потенциальная энергия. Поднимаясь вверх, маятник совершает работу против силы тяжести.

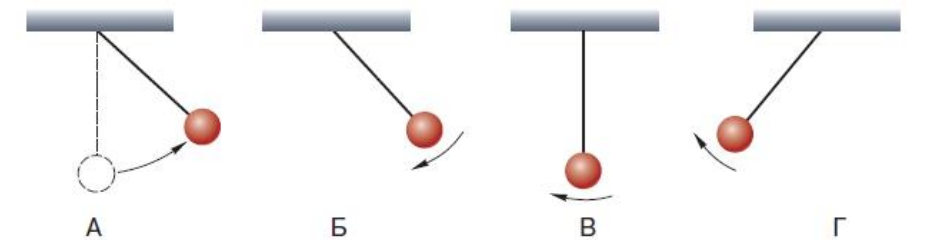


Рис. 89. Схема преобразования энергии во время качания маятника. Отведём маятник в сторону: потенциальная энергия (ПЭ) максимальна, кинетическая энергия (КЭ) равна нулю (А). Отпустим маятник: при движении вниз ПЭ будет уменьшаться, а КЭ – увеличиваться (Б). В самой нижней точке ПЭ исчерпана, а КЭ максимальна (В). На движение против силы тяжести расходуется КЭ, при этом увеличивается ПЭ (Г)

На совершение этой работы расходуется его кинетическая энергия, которая по мере движения переходит в потенциальную энергию, так как маятник поднимается всё выше. Сумма обеих энергий всё время остаётся постоянной. Когда вся кинетическая энергия будет израсходована, она целиком превратится в потенциальную, которая заставит маятник двигаться вниз в обратном направлении. Если на пути маятника не возникает никаких помех его движению, он будет качаться вечно, так как его энергия всегда будет оставаться неизменной.

Обратим теперь внимание на выражение: *«Если на пути не возникает никаких помех движению…»* Мы знаем, что на самом деле так никогда не бывает, и всякий маятник, если не поставлять ему дополнительной энергии, т. е. не совершать над ним работы, когда-нибудь непременно остановится. Пружинные часы надо регулярно заводить. Электрические могут ходить дольше, но рано или поздно батарейка в них «сядет». Причиной этого является то,

что в реальных механических движениях никогда не бывает случаев, когда не возникает никаких помех движению. Любое такое движение встречает сопротивление окружающей среды. Оно может быть большим или меньшим в зависимости от того, как ведёт себя эта среда. В случае маятника такое сопротивление оказывает воздух. Сталкиваясь с его молекулами, маятник передаёт им часть своей кинетической энергии и постепенно прекращает качаться. Закон сохранения энергии при этом не нарушается, так как потерянная энергия не исчезает, а приобретается молекулами воздуха.

Теперь рассмотрим другой случай. Предмет упал с некоторой высоты на поверхность, которую мы назвали нулевой, и остановился. Теперь у него нет ни потенциальной, ни кинетической энергии. Куда она пропала? Вероятно, вы не раз наблюдали всевозможные случаи падения и знаете, что существует много вариантов для обнаружения потерянной энергии. Если камень упадёт в воду, вверх полетят брызги, т. е. капли воды, получившие от камня кинетическую энергию (рис. 90). Если на твёрдый пол упадёт чашка, она разобьётся, израсходовав свою кинетическую энергию на разрыв связей внутри неё самой. Но ведь возможен и случай, когда в результате падения предмета на твёрдую поверхность вроде бы ничего не происходит. Со стола на пол упала книга. Внешне ни с ней, ни с полом ничего не произошло. Куда же делась её энергия, которой она, несомненно, обладала до и во время падения? Она передалась молекулам, из которых состоят и книга, и пол.

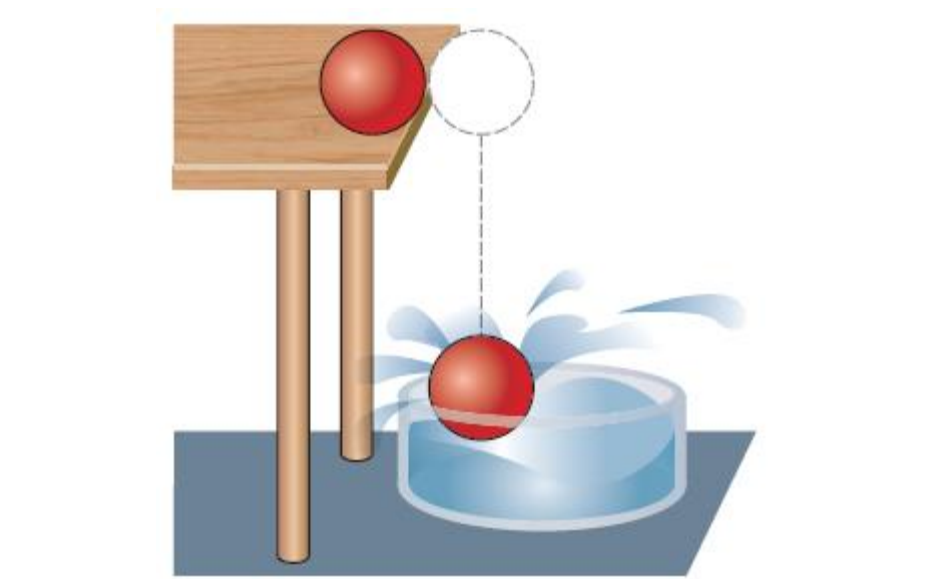


Рис. 90. Если предмет упадёт в воду, вверх полетят капли

воды, получившие от упавшего предмета кинетическую энергию

В результате некоторые молекулы изменили своё положение: при очень тщательном микроскопическом исследовании можно обнаружить небольшие вмятины и царапины. Но у большинства молекул эта энергия вызвала небольшие изменения в скорости их движения. Можно ли это как-нибудь обнаружить? Оказывается, можно, если очень точно измерить температуру книги и пола до и после падения. И то и другое немного нагреется. Это изменение температуры слишком мало для того, чтобы его можно было почувствовать рукой, но очень чувствительный термометр его обнаружит. *Кинетическая* энергия упавшей книги перешла в тепловую энергию, а именно в *кинетическую* энергию движения молекул и *потенциальную* энергию взаимодействия молекул пола и книги.

Проверьте свои знания

1. Как изменяются потенциальная и кинетическая энергия маятника в процессе его колебания?

2. В какие виды энергии может переходить кинетическая энергия упавшего тела?

3. Какая энергия определяет температуру тела?

Задания

Налейте в сосуд немного воды и измерьте её температуру. Затем в течение довольно длительного времени тщательно перемешивайте воду с помощью какой-нибудь электрической мешалки. Вновь измерьте температуру воды. Сравните и объясните полученные результаты.

§ 35 Трение и сопротивление среды

Процесс перехода механической энергии в тепловую легче всего проследить, наблюдая один из самых распространённых видов сопротивления среды, который называют трением. При взаимном движении тел выступы и впадины на их поверхностях цепляются друг за друга и мешают движению. Даже на самых гладких поверхностях есть микроскопические неровности. В результате движущимся телам приходится ломать эти неровности, т. е. разрывать связи между молекулами трущихся поверхностей. На это расходуется кинетическая энергия движущегося тела. В результате его движение замедляется и рано или поздно совсем прекращается. Одновременно можно заметить, что трущиеся поверхности нагреваются. Это знали ещё древние люди, не имевшие никакого представления о законе сохранения энергии, но умевшие добывать огонь с помощью трения. С этим же приходится считаться и тем, кто имеет дело с современными механизмами, например с автомобилями. Если кинетическую энергию молекул двигателя не передать молекулам воды или другой жидкости, а затем молекулам воздуха, мотор вскоре перегреется.

Если бы в природе не существовало трения, наша жизнь была бы совершенно иной. Вернёмся к случаю, о котором мы говорили, когда начинали разговор об энергии. Нам надо передвинуть шкаф массой в 100 кг на расстояние 5 м. Какую для этого надо приложить силу и какую затратить работу, если предположить, что трение отсутствует? Начнём с силы. Для того чтобы шкаф начал двигаться, ему надо придать ускорение. Как мы знаем, ускорение равно действующей силе, делённой на массу, а это значит, что, как бы ни мала была приложенная сила, шкаф всё равно будет двигаться с ускорением до тех пор, пока мы его толкаем. Можно даже не толкать его постоянно, а толкнуть всего один раз, причём с какой угодно малой силой, а затем оставить в покое. Подсчитаем, что будет, если надавить на него в течение одной миллисекунды с силой в одну миллионную ньютона (это сила, которая требуется для того, чтобы поднять груз массой в один миллиграмм, мы её просто не заметим), а затем оставить в покое. Толчок придаст ему импульс, равный произведению силы на время её действия. Шкаф приобретёт тот же импульс и начнёт двигаться со скоростью, равной величине импульса, делённой на массу шкафа. Вычислим, какова будет эта скорость: 10^{-6} Н 10^{-3} с / 100 кг = 10^{-7} м/с. То есть скорость, с которой будет двигаться шкаф, составит 0,1 мкм/с. Это, конечно, скорость небольшая,

однако через пятьдесят миллионов секунд, т. е. немного более чем через полтора года, шкаф без всяких дополнительных усилий окажется там, куда мы хотели его поставить. Правда, он на этом не остановится, и для того чтобы оставить его стоять там, где мы этого хотим, придётся опять приложить ту же силу, только в противоположном направлении.

А теперь определим энергию, которую пришлось затратить на такое перемещение: пока шкаф движется, она равна его кинетической энергии. Так как он имеет массу 100 кг и движется со скоростью 10^{-7} м/с, то его кинетическая энергия составляет $100 \cdot 10^{-17} / 2$ Дж. Такую малую величину невозможно себе представить. Но даже она значительно больше работы, совершаемой при перемещении шкафа, потому что эта работа равна нулю. Мы затратили энергию, когда толкали шкаф, но мы же и получили её обратно, когда его останавливали. Так что в результате ничего не изменилось. И потенциальная, и кинетическая энергия остались такими же, как и до его перемещения, так что никаких затрат энергии не произошло. Значит, сила, которую приходится прикладывать для передвижения тяжёлых предметов, связана не с работой по их перемещению, а с работой по преодолению силы трения.

Рис. 91. Наскальный рисунок повозки II тыс. до н. э., обнаруженный в Ливии

Сила, с которой окружающая среда сопротивляется движению, зависит от нескольких причин. Во-первых, она связана с характером этой среды: мы уже говорили о том, что двигать шкаф по мраморному полу гораздо легче, чем по ковру с длинным ворсом. Во-вторых, она зависит от виды трения. Трение, которое возникает при движении колеса, называют ***трением качения*** (рис. 91). Оно гораздо меньше, чем ***трение скольжения,*** обнаруживающее себя в том случае, когда движущийся предмет прижимается к дороге всей своей нижней плоскостью, ведь колесо соприкасается с плоскостью, по которой оно катится только в одной точке.

В-третьих, сила, с которой окружающая среда сопротивляется движению, зависит от принимающей силы или веса тела. Чем больше вес тела, тем больше сила трения. Сила сопротивления среды, окружающей движущееся тело, связана также со скоростью его движения. Чем она больше, тем больше и препятствие, которое встречает движущийся предмет. Посмотрим, как будет двигаться предмет, упавший с большой высоты. Вначале его движение будет подчинено закону свободного падения. Но так как падение на самом деле не является свободным, а происходит в воздухе, предмет тут же встретит сопротивление этого воздуха, которое будет пропорционально скорости его падения. По мере того как скорость падающего предмета увеличивается, растёт и сила сопротивления, и в какой-то момент она сравняется с силой тяготения. После этого, поскольку равнодействующая обеих сил станет равной нулю, тело будет падать по инерции с постоянной скоростью. Величина этой скорости зависит, в частности, от формы падающего предмета. При возрастании его поверхности она будет увеличиваться, на чём основано использование парашюта. Чем больше сопротивление воздуха, тем раньше установится постоянная скорость его падения и тем мягче будет посадка. Разумеется, такое описание процесса падения является в значительной степени идеализированным, поскольку оно не учитывает ветра и поднимающихся от земли встречных потоков воздуха, которые используют парашютисты и дельтапланеристы.

Однако такая идеализация ничтожно мала по сравнению с той, которую сделали Галилей и его последователи, создавшие теоретическую механику. Они представили себе такое движение, при котором трение, как и любое сопротивление среды, вообще отсутствует. Такого, как мы знаем, никогда не бывает; конструкторы и инженеры, разрабатывающие любые механизмы и машины, должны учитывать все проблемы, возникающие из-за сопротивления среды. Но если бы основатели физики не смогли

бы в своё время отвлечься от существования такого сопротивления, мы не имели бы тех законов физики, на основании которых стало возможным конструировать все эти механизмы и машины. В этом и заключается величайший парадокс естествознания.

Проверьте свои знания

1. Почему движущееся по горизонтальной поверхности тело рано или поздно останавливается? От чего зависит продолжительность движения этого тела?

2. В какой вид энергии переходит кинетическая энергия движущегося тела при наличии трения?

3. Почему при падении тела в воздушной среде его скорость со временем станет равномерной?

4. В чём заключается абстрагирование, к которому прибегли основатели механики?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Установите наклонную плоскость, которую можно покрывать различными материалами: деревом, стеклом, металлом, тканью и т. п. Положите на неё предмет определённой массы. Изменяя наклон плоскости, проследите, как будут двигаться предметы в зависимости от типа покрытия. Пронаблюдайте за характером движения в зависимости от массы положенного предмета. Объясните результаты наблюдений.

3. На горизонтальном столе лежит доска, а на ней кубик. К доске прикладывают силу, в результате чего она начинает двигаться по столу. Кубик при этом остаётся неподвижным относительно доски. Действует ли при этом на кубик сила трения и если действует, то в какую сторону она направлена?

4. Используя знания, приобретённые в курсе биологии, объясните, почему у большинства хищных морских рыб обтекаемая, торпедообразная форма тела. Какие особенности внешнего строения птиц связаны с их основным типом движения?

§ 36 Законы сохранения в природе

Но все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же отнимаю у бодрствования и т. д. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому.

М. Ломоносов. Из письма к Л. Эйлеру. 1748

Итак, мы с помощью примеров убедились в том, что энергия при некоторых процессах переходит из потенциальной в кинетическую или наоборот. Может быть так, что кинетическая энергия одного тела превращается в кинетическую энергию других тел. Во всех случаях суммарная энергия остаётся постоянной.

Попытки опровергнуть закон сохранения энергии.

Что касается экспериментов, призванных опровергнуть этот закон, то их было предостаточно. На протяжении долгого времени предпринимались попытки изобрести ***«вечный двигатель»*** (лат. perpetuum mobile), т. е. устройство, способно совершить полезную работу, большую, чем количество сообщённой ему энергии. Всевозможным комиссиям и академиям наук предлагались самые разнообразные проекты и чертежи *«вечных двигателей»* от самых наивных до чрезвычайно остроумных, таких, с которыми экспертам приходилось долго разбираться (рис. 92, 93). Однако в конце концов все проекты таких двигателей оказывались несостоятельными, и постепенно

все академии и патентные комиссии мира отказались от их рассмотрения. Машину, способную бесконечно совершать работу без затрат топлива или других энергетических ресурсов, называют ***вечным двигателем первого рода.*** Существовали ещё и проекты ***вечного двигателя второго рода,*** которые тоже оказались неосуществимыми. О них вы узнаете позднее.

Виды энергии.

Рассмотрим, в каких формах может существовать энергия. Мы уже знаем о кинетической и потенциальной энергии в гравитационном поле. Мы говорили о том, что если изучать только движение различных тел в поле тяготения, то сумма этих двух энергий никогда не будет оставаться в точности постоянной, так как из-за наличия трения часть этой энергии перейдёт в тепло. Но тепло, в свою очередь, представляет собой кинетическую энергию движущихся молекул и потенциальную энергию их взаимодействия.

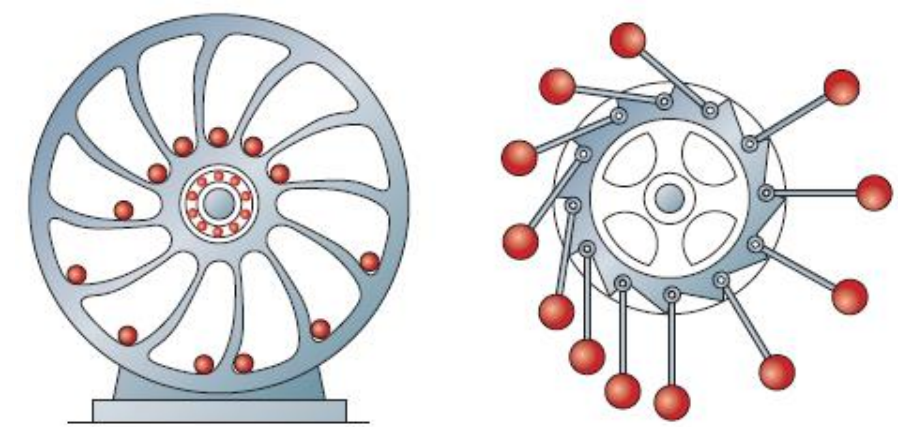


Рис. 92. Модель вечного двигателя, основанная на идее использования колеса с неуравновешенными грузами

Существует ещё ***потенциальная энергия упруго деформированного тела.*** Если растянуть пружину, она приобретёт потенциальную энергию, которая позволит ей, например, поднять груз. Если пружину растянуть, то расстояние между атомами увеличится и силы притяжения начнут преобладать над силами отталкивания. Если же её сжать, то она приобретёт потенциальную энергию. Если подвесить к пружине груз, он будет опускаться под действием силы тяжести и растягивать пружину, увеличивая её потенциальную энергию.

Затем пружина начнёт поднимать груз, расходуя потенциальную энергию. Эти процессы будут повторяться, и возникнут колебания, которые могли бы продолжаться вечно, если бы при каждом колебании часть энергии не превращалась бы во внутреннюю энергию пружины. А поскольку такое превращение неизбежно, колебания пружины с подвешенным на ней грузом рано или поздно прекратятся.

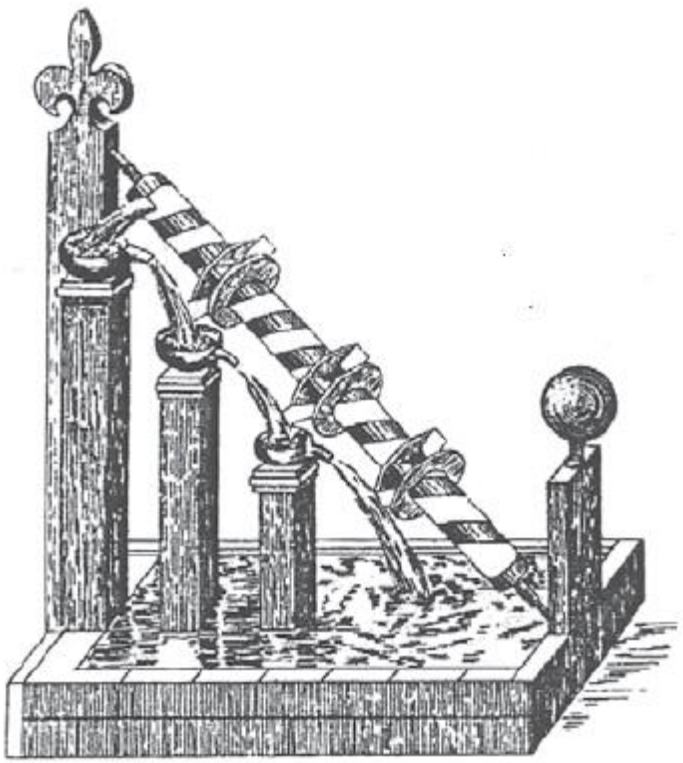


Рис. 93. Модель вечного двигателя, основанная на идее использования архимедова винта

Одной из самых используемых человечеством видов энергии является ***химическая энергия.*** Она работает в тепловых электростанциях, котельных и газовых плитах. Эта энергия, содержащаяся в нефти и природном газе, является основным предметом российского экспорта. Химическая энергия высвобождается в химических реакциях. У русского поэта-декабриста А. И. Одоевского есть знаменитая строка: *«Из искры возгорится пламя».* Откуда берётся энергия пламени, например лесного пожара, абсолютно несопоставимая с энергией искры? Естественно, она возникает из других источников. Искра

содержит в себе небольшое количество очень быстро движущихся, т. е. обладающих большой кинетической энергией, частиц. Попадая в подходящую (горючую) среду, эти частицы своим движением разрывают связи между её атомами. В результате разрыва этих связей потенциальная энергия притяжения, которая раньше удерживала атомы и которую мы можем назвать энергией химических связей, переходит в кинетическую энергию их движения. Они, в свою очередь, освобождают химическую энергию в соседних участках, и процесс приобретает лавинообразный характер, приводя в конечном счёте либо к движению автомобиля, либо к масштабному бедствию в виде пожара. Химическая энергия, таким образом, складывается из двух частей: кинетической энергии движения частиц внутри молекул и атомов и потенциальной энергии притяжения электронов к протонам.

Существует ***энергия излучения,*** в частности, ***энергия света.*** Её можно считать одной из форм электрической энергии, так как свет, как мы знаем, является электромагнитным излучением.

Ещё одним известным видом энергии является ***ядерная энергия,*** связанная с расположением частиц, из которых состоит атомное ядро. Эта энергия не связана ни с тяготением, ни с электрическими силами, а является следствием двух других фундаментальных взаимодействий, которые мы обсудим в следующей главе.

Таким образом, кинетическая энергия обусловлена каким-либо движением, она зависит от скорости, с которой изменяется расстояние между частицами или предметами. Потенциальная же зависит не от изменения расстояний, а от самих расстояний между телами, т. е. от их положения. Потенциальная энергия существует тогда, когда в пространстве, где находится тело, имеется физическое поле, которое способно действовать на это тело с какой-либо силой. Если пока не рассматривать процессы, происходящие внутри атомных ядер, то таких полей существует всего два – гравитационное и электромагнитное. Все остальные виды энергии можно свести к этим основным, или фундаментальным, видам. В следующих главах мы ещё расскажем о различных способах превращения одного вида энергии в другие. Особое внимание мы уделим тепловой энергии, которая играет огромную роль в природе и жизни человека.

Закон сохранения зарядов

Энергия не единственное в природе, что подчиняется закону

сохранения. К числу законов сохранения, которые Ричард Фейнман называл великими, помимо уже известных нам законов сохранения энергии и импульса, относится также ***закон сохранения электрических зарядов***. Существует полный электрический заряд изолированной системы, который при любых изменениях остаётся постоянным. Когда вы теряете заряд в одном месте, он всегда обнаруживается в другом. Если стеклянную палочку натереть мехом, она зарядится положительно, но при этом мех, которым её натёрли, приобретёт точно такой же отрицательный заряд, а суммарный заряд всегда будет равен нулю. Электрические заряды в окружающих нас предметах возникают вследствие потери или приобретения атомами электронов. Электроны гораздо подвижнее протонов и потому относительно легко покидают одни атомы и присоединяются к другим. Атомы, потерявшие отрицательно заряженные электроны, приобретают соответствующий положительный заряд, а те атомы, к которым электроны присоединились, приобретают такой же отрицательный. Заряд всегда передаётся порциями, величина которых кратна заряду электрона. А поскольку электроны и протоны ниоткуда не появляются и никуда не исчезают, то их общее количество, т. е. общий суммарный заряд, всегда остаётся нулевым. Правда, из следующей главы мы узнаем, что во время процессов, происходящих в атомном ядре, электроны и протоны всё-таки могут появляться и исчезать, однако и в этом случае закон сохранения заряда сохраняет свою справедливость.

Закон сохранения момента количества движения.

Если пока не касаться строения атома, а говорить только о том мире, который мы можем наблюдать непосредственно, то надо упомянуть ещё один закон сохранения – ***закон сохранения момента количества движения.***

Рис. 94. Гироскопы

Мы не будем говорить об этом законе подробно, скажем только, что он связан с криволинейным движением тела и особенно важен при вращательном движении: быстро катящееся колесо не падает. На этом законе основано действие *гироскопов* – приборов, способных сохранять постоянное вращение в одной плоскости и даже восстанавливать это движение после не очень больших отклонений (рис. 94).

С первым гироскопом, который называется волчком или юлой, мы знакомимся в раннем детстве. В современной технике гироскопы применяются для автоматического управления движением самолётов, морских судов, ракет и других объектов. Они используются также в астрономии и навигации для определения горизонта и географического меридиана.

Проверьте свои знания

1. Что такое вечный двигатель первого рода?

2. Перечислите известные вам виды энергии.

3. Какие физические величины подчиняются законам сохранения?

4. Объясните, почему все существующие в природе виды энергии можно свести к двум основным видам – потенциальной и

кинетической?

5. Как вы думаете, почему законы сохранения называют великими?

Задания

Предлагаем вам рассмотреть два известных проекта вечного двигателя первого рода. Поскольку мы знаем, что вечный двигатель невозможен, оба эти двигателя «вечными» не являются. Однако причины, по которым они не смогут «вечно» работать, различны. Познакомьтесь с устройством обоих проектов и объясните их несостоятельность.

1. Идея основана на применении колеса с неуравновешенными грузами (см. рис. 92, Б). К краям колеса прикреплены откидные палочки с грузами на концах. При всяком положении колеса грузы на правой стороне будут откинуты дальше от центра, нежели на левой; эта половина, следовательно, должна перетягивать левую и тем самым заставлять колесо вращаться. Значит, колесо будет вращаться вечно.

2. Архимедов винт (вспомним § 3), вращаясь, поднимает воду в верхний бак, откуда она вытекает из лотка струёй, попадающей на лопатки водяного колеса (см. рис. 93). Водяное колесо двигает с помощью ряда зубчатых колёс тот самый архимедов винт, который поднимает воду в верхний бак. Винт поворачивает колесо, а колесо – винт! Этот проект, изобретённый ещё в 1575 г. итальянским механиком Страдою Старшим, затем повторялся в многочисленных вариациях.

Ваша будущая профессия

1. Докажите, что знание основных физических законов необходимо не только физикам и инженерам, но и всем людям в современном обществе.

2. В одной из существующих классификаций профессий, основанной на предмете труда, все профессии делят на пять групп: человек – техника, человек – природа, человек – человек, человек – знаковая система, человек – художественный образ. Как вы думаете, какой группе (каким группам) профессий знания, представленные во 2 главе, будут наиболее важны? Обменяйтесь мнениями с одноклассниками и обсудите ваши точки зрения в классе.

Объекты и законы микромира

§ 37 Миры, о которых мы знаем

Он, прищурившись, смотрит через линзу… Он что-то глухо бормочет, прерывисто дышит.

И вдруг раздаётся громкий взволнованный голос Левенгука:

– Поди сюда! Скорей! В дождевой воде маленькие животные. Они плавают! Они играют! Они в тысячу раз меньше любого существа, которое мы можем видеть простым глазом! Смотри! Ты видишь? Вот что я открыл!

П. де Крюи. Охотники за микробами

Микро-, макро– и мегамиры.

Все явления и закономерности, о которых говорилось в предыдущей главе, по большей части доступны обычному наблюдению, и мы часто сталкиваемся с ними в повседневной жизни. Конечно, для точного измерения физических величин, установления соответствия между ними и представления их в виде математических законов необходимо использование приборов. Но приборы эти относительно просты, а законы достаточно понятны и вполне соответствуют нашим представлениям об устройстве мира. Это мир, в котором мы непосредственно живём и действуем, ориентируемся и приспосабливаем к нему своё поведение. Об этом мире знали первобытные люди, его исследовали в Античности, и представления, с ним связанные, в значительной мере устраивали науку вплоть до начала XX в. Такой мир иногда называют ***макромиром.*** Приставка ***макро-*** по-гречески означает «большой». Почему мир, в котором мы живём, называют большим? Потому что он действительно очень большой по сравнению с миром атомов и элементарных частиц с ничтожными по нашим понятиям объектами и расстояниями между ними, который принято называть ***микромиром.*** Как мы узнаем из данной главы, эти миры различаются не только количественно, но и качественно: в микромире законы физики имеют несколько иной

характер, чем в привычном для нас макромире. Однако наш «большой» мир ещё не самый большой из всех существующих. Давайте подумаем, с какими размерами предметов, расстояниями и скоростями нам приходится иметь дело.

Самые высокие горы на Земле поднимаются над её поверхностью меньше чем на 10 км. Самое большое расстояние на планете по прямой линии равно примерно 20 000 км. Скорость самого быстрого самолёта немного больше 2000 км/ч. Конечно, мы уже освоились с незначительной частью околоземного пространства. Люди побывали на Луне, расстояние до которой 384 000 км, а космические аппараты долетали до Марса и Венеры, отдалённых от Земли более чем на 100 млн км. Но эти расстояния, которые кажутся нам огромными, ничтожно малы по сравнению с размерами части Вселенной, доступной нашим наблюдениям. Эти расстояния так велики, что для их характеристики применяют единицу, называемую ***световым годом*** и равную приблизительно 9,5 трлн км. Расстояние до самых отдалённых от Земли известных нам объектов – квазаров составляет 13 млрд световых лет! Умножив 13 млрд на 10 трлн, вы получите представление о размерах Вселенной. Даже ближайшая к Земле звезда – Проксима Центавра находится от неё на расстоянии 40 трлн км. Скорости наших космических аппаратов также явно недостаточны для того, чтобы «покорить Вселенную». Если лететь со второй космической скоростью, достаточной для выхода за пределы притяжения Земли, то потребуется четыре месяца для того, чтобы долететь до Солнца. Свет же проходит это расстояние за восемь минут. Обо всём этом мы подробно поговорим в дальнейшем, а пока что требуется просто понять, что этот мир настолько велик, что заслуживает специального наименования. Поэтому его часто называют

мегамиром, т. е. «огромным миром».

История создания микроскопа и телескопа.

Для того чтобы понять, что происходит в микро– и мегамире, требуются сложно устроенные приборы. Первыми шагами на пути познания этих миров были изобретения соответственно микроскопа и телескопа.

Еще в Средневековье было известно, что с помощью искривлённого стекла можно изменять зрительное восприятие. Активным пропагандистом использования луп и линз был английский монах **Роджер Бэкон**[9], живший в XIII в. Примерно в то же время люди стали пользоваться очками для исправления дефектов зрения. Однако все эти примитивные оптические приборы не давали возможности увидеть что-то новое по сравнению с тем, что может видеть человек с нормальным зрением. Попытки усилить увеличивающее действие линз привели к изобретению так называемого составного микроскопа – прибора, состоящего из двух линз (объектива и окуляра), последовательно проходя через которые свет создаёт на чувствительной оболочке глаза увеличенное изображение рассматриваемого предмета. Это произошло в конце XVI или начале XVII в., но кто был первым изобретателем такого микроскопа, в точности неизвестно. Во всяком случае, в 1609 г. Галилей впервые продемонстрировал научному обществу сконструированный им прибор, который он назвал «оккиолино», что значит «маленький глаз». Возможно, это и был первый микроскоп, хотя позже находились и другие претенденты на это изобретение. Само же слово «микроскоп» было придумано другом Галилея Джованни Фабером по аналогии с уже существовавшим в то время телескопом.

Однако первые микроскопы не позволяли получать чёткое изображение из-за несовершенной шлифовки стёкол. Несмотря на это, **Роберт Гук** в 1664 г., исследуя срез пробки, открыл клетки. Подлинную революцию в развитии микроскопических исследований произвёл в 1674 г. голландец **Антони ван Левенгук** (рис. 95, А).

А Б В

Рис. 95. Микроскопы: А – микроскоп Левенгука был крайне прост и представлял собой пластинку, в центре которой была линза; Б – современный световой микроскоп; В – электронный микроскоп

Работая сторожем в местной ратуше, он во время дежурства упражнялся в шлифовании линз и вскоре достиг такого совершенства, что, просто взглянув на каплю воды через отшлифованную им линзу при подходящем освещении, увидел совершенно новый мир. Это был мир никому не известных до тех пор живых организмов, которых Левенгук назвал «зверушками». За это открытие он был избран членом-корреспондентом Лондонского Королевского общества, хотя совершенно не разбирался ни в какой науке.

В дальнейшем усовершенствованная техника шлифовки линз позволила увеличить ***разрешающую способность*** составного микроскопа (рис. 95, Б). Этим термином обозначают способность микроскопа создавать чёткое раздельное изображение двух точек объекта. Проще говоря, это наименьшие размеры предмета, который можно различить в микроскопе. Всё, что мы видим вообще и в микроскопе в частности, является отражением света от рассматриваемого предмета. Но мы знаем, что свет представляет собой электромагнитную волну, которая обладает такими качествами, как частота и длина. Кроме того, такие волны, как и все остальные, обладают свойством дифракции, т. е. способностью огибать мелкие предметы. Из-за дифракции оказывается невозможным различить под микроскопом предметы, меньшие, чем половина длины волны отражённого света. Напомним, что длина волны электромагнитного излучения в видимой части спектра приблизительно составляет от 400 до 700

нм. Это значит, что традиционные оптические микроскопы, которые используют в качестве источника освещения видимый свет, могут позволить нам увидеть объекты, размеры которых не меньше этой величины (рис. 96). Поэтому максимальное увеличение, которого можно добиться с их помощью, не может быть больше, чем 2000.

Для того чтобы повысить разрешающую способность, требуется осветить рассматриваемый объект излучением, длина волны которого меньше, чем у видимого света.

А Б

Рис. 96. Глаз стрекозы, видимый при наблюдении невооруженным глазом (А) и под микроскопом (Б)

Рис. 97. Телескоп Галилея.

Таким излучением оказались электроны. В начале XX в. было обнаружено, что электрон можно рассматривать не только как частицу, но и как излучение, с длиной волны, находящейся в диапазоне рентгеновских лучей. А так как электроны, в отличие от света, имеют ещё и электрические заряды, их лучи можно сфокусировать с помощью магнитных линз. На основе этих представлений в 1931 г. началась разработка ***электронного микроскопа,*** позволяющего получать изображение объектов с

увеличением до миллиона раз (рис. 95, В). В дальнейшем техника создания микроскопов постоянно совершенствовалась, и сейчас современные микроскопы позволяют увидеть даже отдельные атомы.

Исследование объектов, находящихся на больших расстояниях от Земли и принадлежащих к мегамиру, началось с изобретения *телескопа* (рис. 97). Телескопу предшествовала подзорная или, как её называли, зрительная труба, находившаяся в употреблении с начала XVII в. Однако она не получила большого распространения до того момента, как попала в руки Галилею. Он усовершенствовал это приспособление и впервые в 1609 г. догадался направить эту трубу на небо, превратив её тем самым в телескоп. Хотя прибор Галилея был достаточно примитивным, учёному удалось за несколько лет повысить его увеличивающую способность с трёх– до тридцатидвухкратной, что позволило ему сделать ряд важных открытий. Подробнее о последующих усовершенствованиях телескопа и проводимых с их помощью исследованиях будет рассказано в следующей главе. А сейчас мы продолжим знакомиться с устройством микромира.

Проверьте свои знания

1. Когда был изобретён микроскоп? Из каких линз он состоит?

2. Какие открытия были сделаны Р. Гуком и А. Левенгуком с помощью микроскопа и увеличительного стекла?

3. Что такое разрешающая способность микроскопа?

4. Каково максимальное увеличение, которое можно получить с помощью оптического микроскопа, и какой степени увеличения позволяли достичь первые электронные микроскопы?

Задания

1. Рассмотрите мелкие предметы с помощью лупы и микроскопа. Зарисуйте их изображение. Опишите полученные результаты.

2. При синем или красном освещении можно различить в световой микроскоп более мелкие объекты? Каковы их примерные размеры?

§ 38 Атомы: от Демокрита до Томсона

Быть может, эти электроны—
Миры, где пять материков,
Искусства, знанья, войны, троны
И память сорока веков!

Ещё, быть может, каждый атом —
Вселенная, где сто планет;
Там всё, что здесь, в объёме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

В. Брюсов

Как устроен материальный мир и из чего состоит вещество, волновало мыслящую часть человечества с глубокой древности. У античных мыслителей существовали различные точки зрения по этому вопросу. Главная проблема заключалась в том, состоит ли вещество из отдельных мельчайших частиц, чётко отграниченных друг от друга, или представляет собой непрерывное единство без разрывов на какие-либо составляющие его элементы. Первое свойство называется *дискретностью* материи, второе, противоположное ему, – *непрерывностью.*

В древнегреческой традиции преобладало представление о непрерывной материи, существование которой лежит в основе всего. Считалось, что она обладает двумя парами взаимно противоположных свойств: тепло – холод и влажность – сухость. Их различные сочетания, по мнению **Аристотеля**, образуют четыре основных элемента. Огонь представляет собой соединение тёплого и сухого, воздух – тёплого и влажного, вода – холодного и влажного, а земля – холодного и сухого. Из этих первоэлементов строятся все вещества, воспринимаемые человеческими ощущениями.

В то же время в Древней Греции существовали представители другой философской школы, которые назывались атомистами. Основателями этой школы были два философа: **Левкипп** и его ученик **Демокрит** (рис. 98).

Демокрит, живший во второй половине V и в первой половине IV в. до н. э., разработал философское учение, в основе которого лежит идея о существовании атомов. По мнению Демокрита, атомы представляют собой мельчайшие неделимые (атом по-гречески означает «неделимый») частицы, составляющие всю материю. Сами атомы никогда не подвергаются никаким изменениям, а все свойства реальной материи объясняются сочетаниями различных атомов.

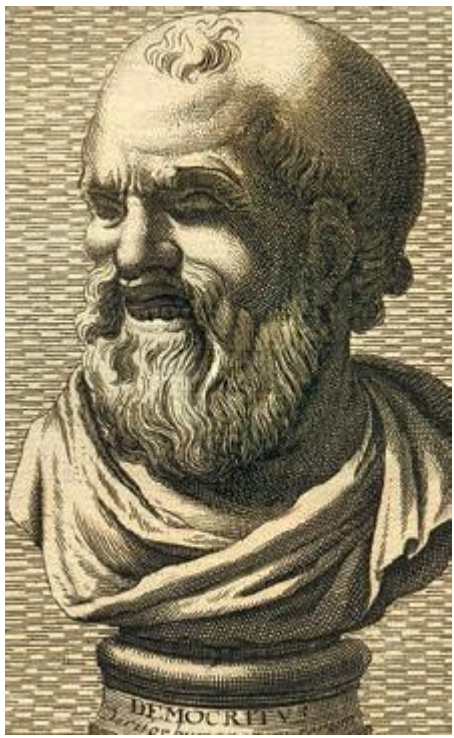


Рис. 98. Демокрит

Между атомами находится пустота.

> *«Из ничего не возникает ничего,* – говорит Демокрит, – *ничто существующее не может быть уничтожено. Всякое изменение есть только соединение или разделение частей».*

Всем атомам свойственно непрерывное движение, даже внутри твёрдых тел они совершают колебания. Друг от друга атомы отличаются формой, размером и «поворотом», т. е. положением в пространстве. Душа по Демокриту тоже состоит из атомов, а их взаимодействие с атомами внешнего мира создаёт ощущения. (Тело, состоящее из «круглых и умеренно больших»

атомов, кажется сладким, а из «округлённых, гладких, косых и малых по величине» – горьким и т. д.)

Представления Демокрита не нашли признания среди современников, и атомизм приобрёл известность только на рубеже IV и III вв. до н. э., когда популярный в то время философ **Эпикур** воспринял идею существования неделимых атомов, разделённых пустотой. По мнению Эпикура, в пустоте непрерывно движутся неделимые атомы, обладающие только формой, величиной и тяжестью. Все остальные свойства материи происходят от движения атомов и от их сочетания.

Сторонником и пропагандистом идей Эпикура был римский поэт и философ **Тит Лукреций Кар**, живший в I в. до н. э. Он написал философскую поэму «О природе вещей», где изложил практически всё, что было известно в то время в натурфилософии. Лукреций последовательно проводит идею о том, что всё во Вселенной состоит из плотных тел и пустоты. Самые мельчайшие частицы вещества разделены пустотой, но в самих себе пустоты не имеют, и поэтому они представляют собой неделимость, т. е. атомы:

Значит, везде пустота, очевидно, сменяется телом,
Ибо ни полности нет совершенной нигде во Вселенной,
Ни пустоты, а тела существуют известные только,
Что полнотой разграничить способны пустое пространство.

Поскольку внутри атомов нет пустоты, они не способны распадаться на более мелкие части. Поэтому они вечны и неуничтожимы:

Если ж начальные плотны тела, если нет пустоты в них,
Как я учил, то должны они вечными быть непременно.
Если же, кроме того, не была бы материя вечной,
То совершенно в ничто обратились давно бы все вещи,
Из ничего бы тогда возрождалось и всё, что мы видим.

Но, раз уж я доказал, что ничто созидаться не может
Из ничего, и всё то, что родилось, в ничто обращаться,
Первоначалам должно быть присуще бессмертное тело,
Чтобы все вещи могли при кончине на них разлагаться,
И не иссяк бы запас вещества для вещей возрожденья.

В XVII в., когда, как мы знаем, возникло современное

естествознание, идеи атомизма, высказанные Демокритом и распространённые Эпикуром, получили признание среди первых естествоиспытателей. Одним из первых мыслителей, возродивших атомизм, был французский философ и учёный **Пьер Гассенди** (1592–1655). Также необходимо отметить большой вклад в эту область знания основателя и многолетнего президента Лондонского Королевского общества **Роберта Бойля** (1627–1691). Широкую известность он получил благодаря открытию закона сжатия газов, известного под названием закона Бойля – Мариотта, однако его исследования во многом были посвящены изучению строения вещества. Бойль полагал, что все вещества состоят из материальных частиц, имеющих определённую величину и форму, причём атомы жидкостей находятся в постоянном движении, а твёрдых тел – в покое. Он впервые объяснил химические изменения вещества соединением и разъединением атомов, что нашло подтверждение в последующих химических исследованиях. Сторонником атомизма был также Ньютон, который говорил, что материю следует считать «пористой», т. е. состоящей из отдельных крупинок, погружённых в пустое пространство.

К концу XVIII в. стало складываться убеждение, что вещества состоят из мелких частиц, которые называли корпускулами или молекулами. Эти частицы могут распадаться на более мелкие частицы – атомы, которые уже не могут быть разделены. Горячим сторонником атомно-молекулярной теории был российский учёный, внёсший неоценимый вклад в становление российской науки и культуры, **Михаил Васильевич Ломоносов** (1711–1765) (рис. 99). Он утверждал, что все вещества состоят из корпускул, которые являются собранием элементов. Позже Ломоносов заменил слово «корпускула» на «молекула», а «элемент» на «атом».

В 1860 г. на международном съезде физиков в Германии было принято определение *молекулы* как наименьшей частицы вещества, сохраняющей его химические свойства, и *атома* как наименьшей части химического элемента, входящей в состав простых и сложных веществ.

До конца позапрошлого века исследователи только констатировали существование в материи мельчайших неделимых частиц, но всерьёз не ставили вопроса об их строении. Между тем уже с начала XIX в. накапливались данные, свидетельствующие о том, что электричество, так же как и вещество, состоит из мелких неделимых зарядов. Впервые мысль о дискретной структуре электричества высказал в 1801 г. немецкий физик Иоганн Риттер, а в 1846 г. его соотечественник

Вильгельм Вебер ввёл понятие атома электричества. К концу XIX в., в значительной мере благодаря опытам Фарадея, было окончательно установлено, что существуют наименьшие, неделимые дальше, электрические заряды.

Рис. 99. М. В. Ломоносов

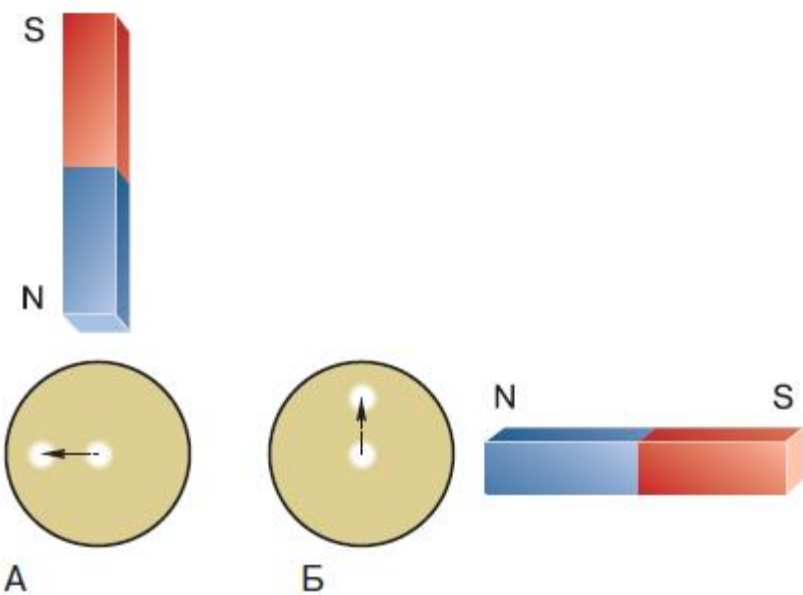


Рис. 100. След катодного луча (обозначен светлым кружком) из центра смещается под действием магнитного поля.

Северный полюс магнита поднесён к лучу, направленному на

наблюдателя: А – луч отклоняется влево; Б – луч отклоняется вверх

В 1881 г. английский физик Дж. Стони рассчитал величину этих зарядов и впоследствии предложил назвать их ***электронами.***

Одновременно проводились исследования излучения, которое было названо *катодными лучами.* Катодные лучи испускаются в вакууме из отрицательно заряженного тела (катода). Было ясно, что они отрицательно заряжены, так как под действием магнитного поля отклоняются в определённую сторону (рис. 100). В 1895 г. французский физик **Жан Перрен** экспериментально доказал, что катодные лучи – это поток отрицательно заряженных частиц. В том же году английский исследователь **Джозеф Джон Томсон** начал в Кембриджском университете подробные исследования катодных лучей и уже через два года опубликовал работу, в которой доказал, что все частицы, которыми они образованы, одинаковы и что эти частицы входят в состав вещества.

Таким образом, выяснилось, что атомы не являются неделимыми – в их состав входят более мелкие частицы, которые имеют отрицательный заряд. Эти частицы оказались по сути теми же частицами, которые описывал Стони, и за ними было сохранено данное им название электронов.

Известно, однако, что атомы в целом электрически нейтральны. Следовательно, кроме отрицательных зарядов, в них должны существовать и компенсирующие их положительные. Исходя из этого, Дж. Дж. Томсон в 1903 г. предложил первую модель атома, получившую название «пудинг с изюмом». Исходя из того, что масса электрона оказалась значительно меньше массы атома, он предположил, что атомы представляют собой массивную частицу, в которой равномерно распределён положительный электрический заряд и в которую, подобно изюминам в пудинге, вкраплены значительно более лёгкие, отрицательно заряженные электроны. При определённых условиях электроны могут вылетать из атомов и двигаться прямолинейно с большой скоростью. Это движение электронов и обнаруживается в виде катодных лучей.

Проверьте свои знания

1. Какими древнегреческими философами было высказано предположение о существовании атомов?

2. Какие исследователи развивали идеи атомизма в XVI–

XVII вв.?

3. Что представляют собой «катодные лучи»?

4. Какую модель атома предложил Дж. Дж. Томсон? Изобразите её схематично.

§ 39 Открытие радиоактивности и модель атома Резерфорда

Модель атома, предложенная Томсоном, просуществовала почти десять лет. Но за это время накопились новые научные факты, которые эта модель объяснить не могла, например радиоактивность. Первооткрывателем этого явления можно считать французского физика **Антуана Анри Беккереля** (1852–1908). В 1896 г. ему удалось случайно обнаружить, что соли урана обладают свойством засвечивать в полной темноте фотографическую пластинку. Так как интенсивность почернения пластинки не зависела от того, какая именно соль урана использовалась, Беккерель пришёл к выводу, что сам по себе металл, называемый ураном, испускает какое-то излучение. Первоначальное предположение, что это излучение является рентгеновским, не подтвердилось. Стало ясно, что уран испускает излучение, до тех пор неизвестное. Исследования Беккереля были продолжены супругами **Пьером Кюри** (1859–1906) и **Марией Склодовской – Кюри** (1867–1934) (рис. 101). Им удалось обнаружить ещё три химических элемента, испускающих невидимые лучи.

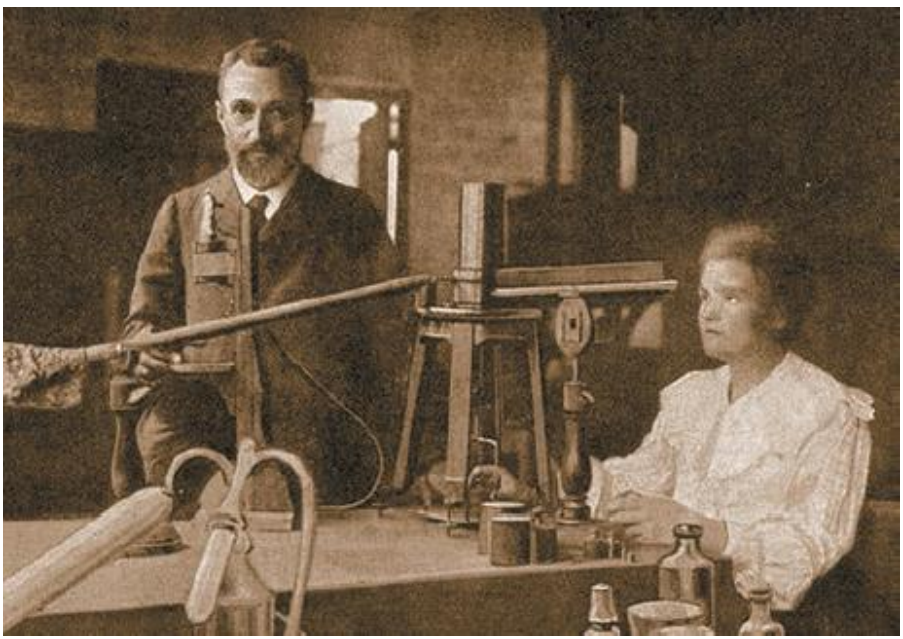


Рис. 101. Пьер и Мари Кюри в лаборатории

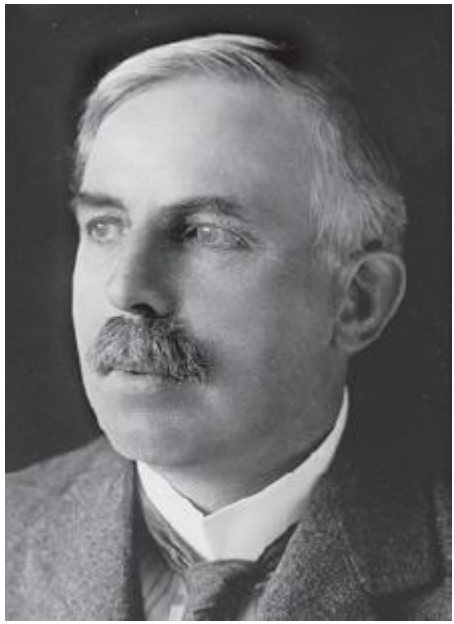


Рис. 102. Эрнест Резерфорд

Этими элементами оказались торий, радий и полоний. Излучение было названо ***радиоактивным,*** а само явление – ***радиоактивностью.*** Впоследствии оказалось, что радиоактивное излучение способны испускать многие элементы, имеющие большой атомный вес. У некоторых элементов, не обладающих радиоактивностью в обычных условиях, она возникает после того, как они сами были облучены радиоактивным излучением. Это явление получило название ***искусственной радиоактивности.***

Природа радиоактивности стала главным предметом изучения английского физика новозеландского происхождения **Эрнеста Резерфорда** (1871–1937) (рис. 102), работавшего в той же лаборатории Кембриджского университета, что и Томсон. В 1899 г. ему удалось установить, что радиоактивное излучение состоит по крайней мере из двух составляющих, которые он назвал ***альфа-*** и ***бета-излучением.*** Оба эти вида излучения состояли из электрических зарядов, так как отклонялись под действием магнитного поля. Вскоре была обнаружена и третья составляющая радиоактивности, не имеющая электрического заряда, которую по аналогии назвали ***гамма-излучением***. В дальнейшем удалось выяснить, что альфа-лучи являются потоком атомных ядер химического элемента, называемого гелием, бета-лучи – потоком электронов, т. е. катодными лучами, а гамма-лучи, как вы уже знаете, представляют собой электромагнитное излучение очень высокой частоты. Разделить суммарное радиоактивное излучение на эти три составляющие в

эксперименте несложно. Для этого нужно пропустить пучок излучения через магнитное поле. Препарат радия помещают на дно узкого канала в куске свинца. Напротив канала находится фотопластинка. На выходящее из канала излучение действует сильное магнитное поле, под действием которого пучок распадается на три пучка (рис. 103). Два из них отклоняются в противоположные стороны, что указывает на наличие у этих излучений электрических зарядов противоположных знаков. При этом отрицательный компонент излучения (бета– лучи) отклоняется магнитным полем гораздо сильнее, чем положительный (альфа-лучи). Третья, нейтральная составляющая (гамма– лучи) не отклоняется магнитным полем.

Резерфорд провёл эксперимент, в котором из радиоактивного излучения выделяли пучок положительно заряженных (лишённых электронов) атомов гелия, называемых альфа-частицами.

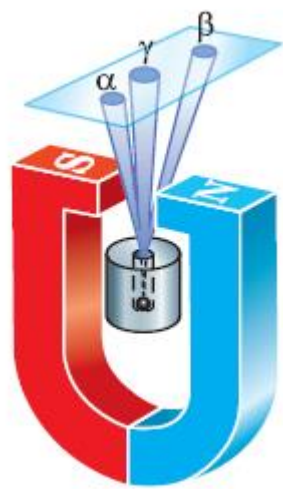


Рис. 103. Расщепление радиоактивного излучения в магнитном поле

Эти частицы ударялись о тонкую металлическую фольгу и после взаимодействия с её атомами рассеивались, т. е. разлетались в соответствии с законами столкновения. Рассеянные частицы попадали на экран, покрытый веществом, способным светиться под ударами быстрых заряженных частиц. Резерфорд обнаружил, что большинство альфа-частиц пролетает через слой металла, практически не подвергаясь какому-либо отклонению. Некоторые частицы отклонялись на небольшие углы, и только одна из десяти тысяч отскакивала назад под углом, близким к 180°.

Этот результат находился в резком противоречии с моделью атома Томсона. Если бы атом представлял собой плотную массу, вероятность того, что частица отскочит от него назад под большим углом, была бы значительно больше. Размышляя над причиной неожиданного результата эксперимента, Резерфорд пришёл к выводу, что атом на самом деле почти пустой, а весь его положительный заряд сосредоточен в объёме, очень малом по сравнению с величиной всего атома. Эту небольшую часть атома Резерфорд назвал *атомным ядром.*

Предложенную Резерфордом модель строения атома называют ***планетарной.*** Согласно ей в центре каждого атома находится небольшое положительно заряженное ядро, а вокруг него на огромных по сравнению с размерами ядра расстояниях находятся отрицательно заряженные электроны. Эти электроны вращаются по определённым траекториям вокруг ядра подобно тому, как планеты движутся по орбитам вокруг Солнца. Результаты экспериментов Резерфорда можно объяснить тем, что подавляющее большинство альфа-частиц, бомбардирующих атом, практически свободно проникают через его электронную оболочку, не испытывая существенного отклонения из-за того, что их масса значительно больше массы электрона. Частицы, пролетающие в непосредственной близости от ядра, отклоняются в сторону из– за отталкивания их заряда от положительно заряженного ядра. В исключительных случаях частицы сталкиваются непосредственно с ядром и отскакивают назад, но из-за малых размеров ядра такое случается крайне редко. Подобное объяснение строения атома было предложено ещё в 1903 г. японским физиком Хантаро Нагаоко, но она не получила признания из-за отсутствия в то время подтверждающих её экспериментальных данных.

Проведённые Резерфордом вычисления показали, что атомное ядро имеет радиус менее 10^{-12} см, так что размер всего атома, составляющий около 10^{-8} см, определяется величиной его электронной оболочки. Таким образом, размер электронной оболочки атома в десятки тысяч раз превышает размер его ядра. В то же время 99,98 % массы атома сосредоточено именно в ядре.

Исследование радиоактивности позволило убедиться в том, что ядра обладающих этим свойством химических элементов способны распадаться, выбрасывая частицы, которые по размеру значительно меньше их самих. Это показывало, что не только атом, но и его ядро делимы. Вопрос был в том, справедливо ли это для всех химических элементов или только для тех, которые обладают радиоактивными свойствами. Для того чтобы это проверить, Резерфорд стал бомбардировать не обладающий

радиоактивностью азот альфа-частицами. При этом он наблюдал появление однократно ионизированных атомов водорода. На основании полученных результатов Резерфорд заявил, что

«создаётся впечатление, что атомы водорода рождаются в результате расщепления ядра азота».

Было общепризнано, что ядра всех атомов содержат протоны независимо от того, происходит ли в них спонтанный радиоактивный распад или нет. Таким образом, стало возможным приблизиться к пониманию строения атома и его ядра.

Планетарная модель Резерфорда приобрела широкую популярность. Помимо того что она удовлетворительно объясняла строение атома, её стали пропагандировать «космисты», стремившиеся единообразно объяснить все природные явления. Идея многократно эксплуатировалась писателями-фантастами и просто склонными к философии людьми, предполагавшими, что атомы являются полной аналогией планетарной системы, а на электронах, возможно, существует разумная жизнь. Напротив, наши планетарные системы являются, в свою очередь, атомами какого-то гигантского сверхвещества.

На самом деле модель Резерфорда, хотя и была признана научным сообществом, имела недостатки, порождавшие многочисленные вопросы. Если ядро атома состоит из протонов, то откуда при радиоактивном распаде возникает бета-излучение, представляющее собой, как известно, поток электронов? Почему заряд атомного ядра равен сумме зарядов составляющих его протонов, а его масса вдвое превышает сумму масс этих протонов? Модель Резерфорда противоречила законам электродинамики, согласно которым электрон при вращательном движении должен излучать электромагнитные волны, а следовательно, терять энергию. Расчёты показывали, что по этой причине электрон через самое короткое время должен упасть на ядро. Усовершенствовать модель, разрешив имеющиеся противоречия, удалось Нильсу Бору. Но для этого пришлось создать новую науку, которую назвали ***квантовой физикой*** или ***квантовой механикой***.

Проверьте свои знания

1. Кто и в каких экспериментах открыл явление радиоактивности?

2. Что представляют собой альфа-, бета– и гамма-лучи?

Каким образом можно их разделить?

3. Как называется модель атома, предложенная Э. Резерфордом? Почему она так называется?

4. Каково примерное соотношение между размером атома и размером его ядра?

5. Какие явления не могли быть объяснены с помощью модели атома Резерфорда?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Схематично изобразите планетарную модель Резерфорда.

§ 40 Что такое свет

Корпускулярная теория света.

Раньше мы уже говорили о том, что по современным представлениям свет – это электромагнитное излучение. Основные закономерности, связанные с отражением и преломлением света, в общих чертах известные ещё в Античности, были исследованы и уточнены в XVII в. Кеплером, Гюйгенсом, Декартом и другими учёными. В середине 60-х гг. XVII в. природой света, иначе говоря оптикой, заинтересовался Исаак Ньютон. Он утверждал в соответствии с атомистическими настроениями своего времени, что свет представляет собой поток мельчайших частиц, которые, двигаясь по прямой линии, образуют лучи – тончайшие составляющие светового излучения. Такое объяснение природы света получило название ***корпускулярной теории*** от принятого тогда названия мельчайшей частицы – корпускула. Отражение и преломление света Ньютон считал результатом «пористости» вещества, о чём говорилось в предыдущем параграфе. Продвигаясь внутри вещества, корпускулы света сталкиваются с частицами вещества и либо меняют направление движения, что объясняет преломление света, либо отскакивают назад, в результате чего происходит его отражение.

Волновая теория света.

Другой точки зрения придерживался голландский физик, математик, астроном и изобретатель **Христиан Гюйгенс** (1629–1695). Будучи последователем Гримальди, впервые предположившего, что свет является волной (§ 29), он утверждал, что свет представляет собой не поток движущихся частиц, а распространяющуюся волну. Его объяснение впоследствии получило название ***волновой теории света.*** Главный вопрос заключался в том, что представляет собой среда, в которой распространяются эти волны. Гюйгенс считал, что всё пространство заполнено особой средой – эфиром и что свет представляет собой волны в этом эфире. Вспомните, что говорилось в § 30 о дифракции. Точка, через которую проходит волна, начинает вести себя как самостоятельный источник новой волны. Гюйгенс полагал, что каждая частичка светящегося тела

сообщает движение окружающим частичкам окружающего эфира, т. е. создаёт собственную волну, а каждая частица эфира, которой достигла волна, становится центром другой волны.

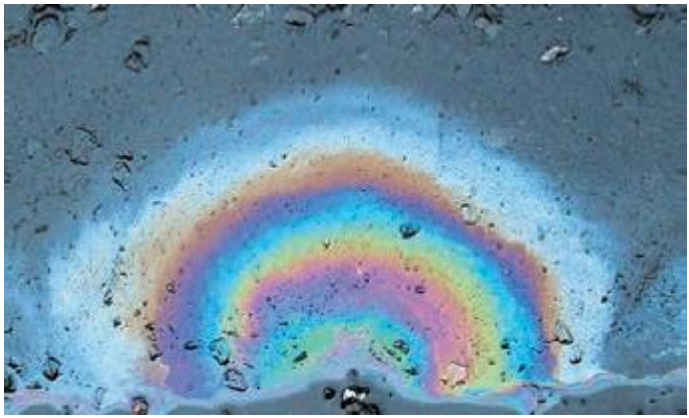


Рис. 104. Бензиновая плёнка на поверхности воды

Таким образом, движение распространяется от частицы к частице посредством кольцевых волн подобно тому, как распространяется пожар. Это утверждение впоследствии стали называть ***принципом Гюйгенса.***

Ньютон в силу своего неизменного принципа «не измышлять гипотез» не мог признать существование непонятной эфирной материи, которая проникает во все тела, не проявляет свойств тяжести и к тому же жёсткая и очень упругая. Явление дифракции он объяснял всё тем же «пористым» строением вещества: столкновение частиц света с атомами вследствие многократного отражения вызывает колебательные процессы.

Интерференция.

Исследования, проводившиеся в XVIII в. и в начале XIX в., всё более подтверждали волновую теорию. В 1807 г. английский врач **Томас Юнг** (1773–1829) экспериментально установил и теоретически обосновал законы ***интерференции***. Интерференцию света легко наблюдать на тонких прозрачных плёнках. Вероятно, вы замечали, что, если по поверхности лужи разлито немного бензина, на ней можно наблюдать цветные разводы (рис. 104). Они образуются из-за того, что падающий на тонкую плёнку бензина свет частично отражается, а частично проходит через неё и отражается уже от поверхности воды, находящейся под этой плёнкой. Оба отражённых луча сливаются, но из-за того что луч, отражённый от воды, прошёл большее расстояние, чем тот,

который отразила бензиновая плёнка, они встречаются в разных фазах. В этом случае одни волны могут взаимно гасить друг друга, а другие – взаимно усиливать, т. е. возникает явление интерференции. Если свет, обладающий длиной волны, которая воспринимается как красный цвет, в данном месте усиливается, мы будем наблюдать красное пятно. В соседний участок лучи придут таким образом, что здесь усилятся волны, соответствующие зелёному цвету, и мы увидим зелёное пятно.

Поляризация.

Приблизительно в то же время было открыто явление, названное ***поляризацией света.*** Суть его сводится к следующему. Если взять два кристалла определённого типа (для этого опыта подходят не все кристаллы) и, расположив один перед другим, посмотреть сквозь них на свет, можно заметить, что яркость света меняется в зависимости от того, как повёрнуты кристаллы друг относительно друга (рис. 105). Если найти положение, в котором свет будет наиболее ярким, а затем вращать один из кристаллов, мы увидим, что свет становится всё слабее и слабее, пока поле зрения не станет совсем тёмным. Это произойдёт тогда, когда кристалл повернётся на 90° по отношению к исходному положению.

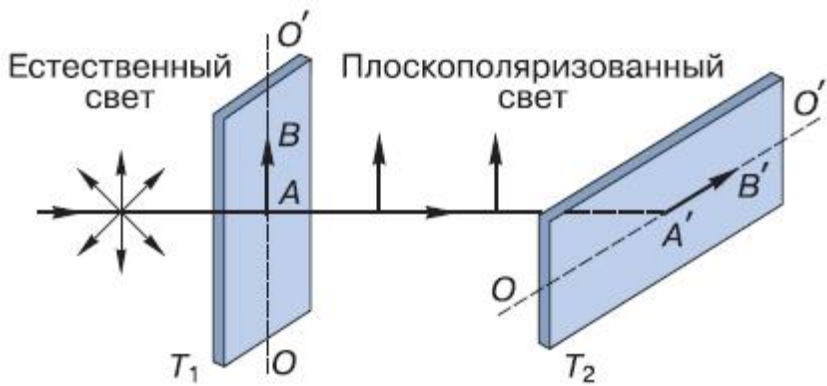


Рис. 105. Направим естественный свет перпендикулярно пластинке турмалина *T1*,вырезанной параллельно так называемой оптической оси OO'. Вращая кристалл *T1* вокруг направления луча, никаких изменений интенсивности прошедшего через турмалин света не наблюдаем. Если на пути луча поставить вторую пластинку турмалина T_2 и вращать её вокруг направления луча, то интенсивность света, прошедшего через пластинки, меняется в зависимости от угла между оптическими осями

кристаллов

Вначале были предприняты попытки объяснить поляризацию света с помощью корпускулярной теории. Предполагали, что корпускулы света, идущего от обычного источника, ориентированы беспорядочно, а при прохождении через кристалл они приобретают определённую ориентацию. Но вскоре в результате исследований французского инженера **Огюстена Френеля** (1788–1827) волновая теория света получила безоговорочное подтверждение и широкое признание. Френель установил, что волны света представляют собой поперечные колебания, чем принципиально отличаются от звуковых, которые являются продольными. С точки зрения волновой теории Френеля поляризация света объясняется следующим образом. Свет, исходящий от обычного источника, например от Солнца или свечи, представляет собой множество колебаний. Эти колебания происходят в самых разных плоскостях под любым углом друг к другу. Никакой выделенной предпочтительной плоскости для них не существует. Но когда волны света проходят через кристалл, он пропускает только те из них, плоскость колебания которых соответствует его структуре. Пройдя через кристалл, все световые волны начинают колебаться практически в одной плоскости. Такой свет называется поляризованным. Если поляризованный свет попадёт на другой такой же кристалл, он пройдёт через него, если его структура будет параллельна структуре первого кристалла. Если же они окажутся перпендикулярными, поляризованные волны не проходят через второй кристалл.

Во второй половине XIX в. волновая теория света полностью восторжествовала, и создалось впечатление, что все проблемы, связанные с природой света, в целом успешно решены. Однако ближе к концу века стали накапливаться факты, которые не согласовывались с этой теорией. Вначале выяснилось, что волновая теория не может объяснить некоторых фактов, связанных с электромагнитным инфракрасным излучением, испускаемым некоторыми телами при определённых условиях.

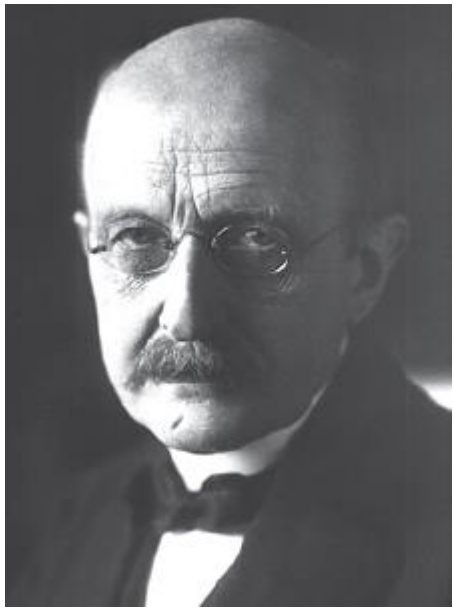


Рис. 106. Макс Планк

Подвергнув результаты многочисленных экспериментов, проведённых различными исследователями, тщательному математическому анализу, немецкий физик **Макс Планк** (1858–1947) (рис. 106) в 1900 г. пришёл к совершенно неожиданному и парадоксальному выводу. Оказалось, что эти результаты можно объяснить теоретически только в том случае, если предположить, что энергия излучения испускается не непрерывно, а определёнными порциями. Суть открытия Планка заключается в том, что источник электромагнитных колебаний может излучать энергию только прерывисто, ***квантами,*** которые представляют собой порции энергии, равные $h\nu$, где ν – частота испускаемого колебания, а h – константа, названная постоянной Планка. Получается, что чем больше частота излучения, тем большей энергией обладают его кванты. Интересно, что сам Планк не вполне оценил важность своего открытия и даже позже, когда квантовая теория была обоснована А. Эйнштейном, возражал против того, чтобы считать её способной заменить классические физические теории. Однако к тому времени Эйнштейн, занимавшийся другими физическими проблемами, вполне убедительно обосновал квантовую теорию.

Проверьте свои знания

1. Каких точек зрения на природу света придерживались И.

Ньютон и Х. Гюйгенс?

2. Что такое поляризация света?

3. Что такое квант и чему равна его энергия?

Задания

Подберите эпиграф к данному параграфу.

§ 41 Фотоэффект

Фотоэлектрическим эффектом, или ***фотоэффектом,*** называют процесс испускания электронов веществом под действием света. Фотоэффект был открыт в 1887 г. **Генрихом Герцем**. Явление фотоэффекта можно наблюдать на опыте (рис. 107). Зарядим цинковую пластину, присоединённую к электрометру отрицательно.

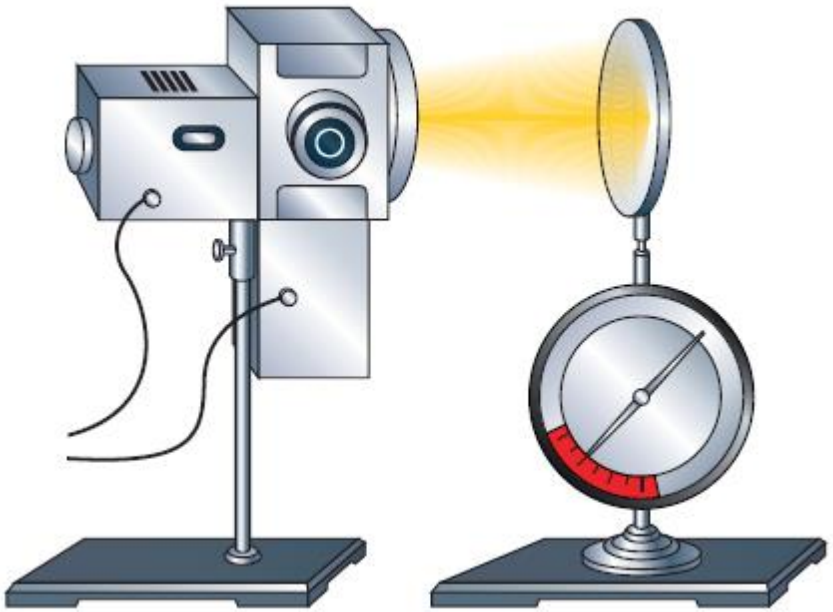


Рис. 107. Опыт, иллюстрирующий явление фотоэффекта

При освещении пластины ультрафиолетовым светом, например от электрической дуги, электрометр будет очень быстро разряжаться. Если же сообщить пластине положительный заряд и затем осветить ультрафиолетовым светом, то электрометр не разрядится.

Единственная возможная гипотеза, объясняющая данное явление, заключается в том, что с поверхности цинковой пластины могут вылетать отрицательно заряженные частицы – электроны. К фотоэффекту применимо всё, что мы говорили о катодных лучах. Поток электронов, испускаемый катодом, может возникать или усиливаться под действием света. Поверхность, с которой под действием света могут испускаться электроны, называют *фотокатодом.*

Экспериментальными исследованиями фотоэффекта занимался российский физик **Александр Григорьевич Столетов** (1839–1896). Он установил, что при одном и том же спектральном составе, т. е. при одинаковых длинах волн падающего на фотокатод света, поток выбиваемых электронов пропорционален интенсивности облучения. В этом не было ничего неожиданного с точки зрения классической волновой теории света. Понятно, что волны света приносят с собой энергию, которая, передаваясь электронам, увеличивает их кинетическую энергию, т. е. скорость, в результате чего они вылетают с фотокатода.

Однако в дальнейшем обнаружились факты, которые волновая теория объяснить не могла. Выяснилось, что интенсивность облучения влияет только на количество электронов, покидающих фотокатод за единицу времени, но не оказывает влияния на их энергию. Энергия выбиваемых электронов зависит только от частоты падающего света. Вы уже знаете, что частота колебаний световой волны определяет ощущение определённого цвета. Свет с самой маленькой частотой воспринимается как красный, с самой большой – как сине-фиолетовый. Ещё большей частотой обладает невидимое для человека ультрафиолетовое излучение.

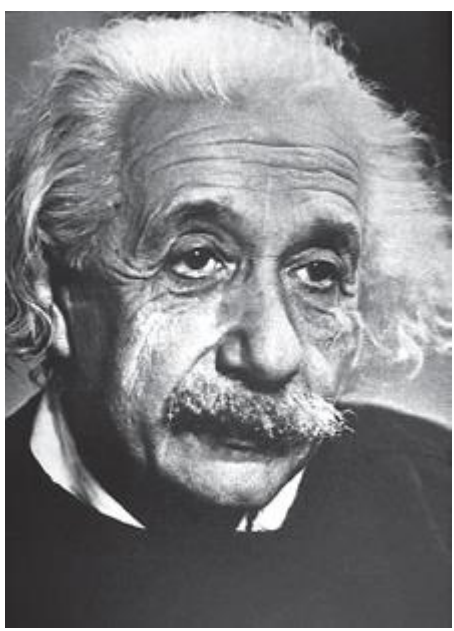


Рис. 108. Альберт Эйнштейн

Оказалось, что именно это излучение приводит к испусканию электронов с самой высокой энергией. Из видимой части спектра самым эффективным оказывается синий цвет, а далее энергия, с

которой вылетают электроны, снижается по мере снижения частоты колебаний света. Для каждого вещества существует *красная граница фотоэффекта,* т. е. наименьшая частота облучающего света, при которой ещё наблюдается эффект.

Фотоэлектрический эффект используют в самых различных технических приспособлениях. Достаточно вспомнить двери магазинов и других учреждений, которые открываются при приближении к ним человека. Их устройство объясняется довольно просто. Перед входом установлен источник часто не видимого для человека излучения, луч которого падает на специальное устройство, вызывая в нём фотоэлектрический эффект. Когда на пути луча оказывается препятствие, ток в датчике прекращается, и это служит сигналом к включению механизма, открывающего двери.

Однако значение фотоэффекта в понимании устройства мира оказалось гораздо важнее, чем все его практические применения. В 1905 г. **Альберт Эйнштейн** (1879–1955) (рис. 108), уже знакомый с работой Планка, посвящённой инфракрасному излучению, выдвинул гипотезу, что свет состоит из частиц, энергия каждой из которых пропорциональна частоте колебаний этого света. Эти частицы впоследствии были названы ***фотонами.*** Энергия фотона, таким образом, равна энергии кванта, которая определяется в соответствии с формулой Планка. Таким образом, Эйнштейн распространил вывод Планка, касающийся инфракрасного излучения, на всю область электромагнитных волн. Гипотеза Эйнштейна хорошо объясняла законы фотоэффекта: если каждый фотон в результате столкновения выбивает один электрон, то чем больше будет интенсивность света, т. е. чем больше фотонов, тем больше будет выбито электронов, а энергия каждого выбитого электрона будет зависеть от энергии фотона – от частоты световой волны.

Такую зависимость легко себе представить, если вообразить кегельбан, где в ряд выстроено большое количество кеглей. Допустим, что каждый брошенный шар может выбить только одну кеглю. Поэтому чем больше будет брошено шаров, тем больше будет сбито кеглей. Но если все шары будут лететь с небольшой скоростью, то и сбитые ими кегли отлетят недалеко. Если же мы пустим совсем немного шаров, но с очень большой скоростью, то собьём мало кеглей, но зато они отлетят на гораздо большее расстояние.

Таким образом, получилось, что свет представляет поток фотонов, т. е. существуют частицы света. Но это возвращает нас к, казалось бы, уже отвергнутой корпускулярной теории, горячим сторонником которой был Ньютон. Как же быть с

общеизвестными и неоспоримо доказанными волновыми свойствами света? Этого никто не мог понять, и среди физиков завязалась оживлённая дискуссия. Многие считали, что обнаруженное противоречие является временным и вскоре будет разрешено в пользу классических теорий физики. Сам Эйнштейн, выступая в 1911 г. на научном конгрессе, говорил:

> *«Мы все согласны с тем, что теория квантов в своём нынешнем виде может иметь полезное применение, но на самом деле она не представляет собой настоящей теории в обычном смысле этого слова, во всяком случае, такой теории, которую можно было бы последовательно развивать дальше».*

Однако постепенно квантовая теория, пробиваясь через всевозможные недоумения, завоёвывала всё большую популярность. Сам Планк полностью поверил в неё только после того, как она уже имела повсеместный успех. А Нобелевскую премию учёный получил лишь в 1923 г., т. е. через двадцать три года после первой публикации, посвящённой квантам. Интересно, что, когда Планк был студентом, он сказал преподавателю о своём намерении заниматься теоретической физикой. Профессор пытался отговорить его, доказывая, что в теоретической физике уже всё сделано и она не может представлять интереса для серьёзного исследователя.

Проверьте свои знания

1. Что такое фотоэлектрический эффект?
2. Как зависит энергия выбитых электронов от частоты облучающего света?
3. Что такое красная граница фотоэффекта?
4. Что такое фотон?

Задания

Подберите эпиграф к данному параграфу.

§ 42 Спектры излучения и поглощения

В § 29 мы говорили о том, что электромагнитное излучение представляет собой широкий спектр колебаний, которые различаются частотой и, следовательно, длиной волны. Напомним, что для того, чтобы вычислить частоту, зная длину волны, надо разделить скорость распространения волны на эту длину. Так что чем больше частота излучения, тем короче его длина волны. Теперь мы также знаем, что энергия электромагнитного излучения прямо пропорциональна его частоте, т. е. обратно пропорциональна длине его волны. Излучение, длина волны которого лежит на участке от 380 до 780 нм, воспринимается человеческим глазом и называется видимой частью излучения или просто видимым светом. От длины волны видимого света зависит его цвет. Излучение, в котором все части спектра представлены в равном соотношении, воспринимается как белый свет. Таким, например, является солнечное излучение[10].

Впервые на то, что солнечный свет можно разложить на составляющие его различно окрашенные лучи, обратил внимание Ньютон. Разумеется, и до него люди наблюдали на небе радугу, которая почему– то появлялась обычно после дождя, любовались игрой света в драгоценных камнях и т. д., но причину этого явления никто объяснить не мог. Решающее открытие было сделано Ньютоном следующим образом. Свет от Солнца или от фонаря пропускают через узкую щель, а затем с помощью линзы фокусируют на белом экране, где образуется короткий белый прямоугольник. Если на пути луча света поместить стеклянную призму, то этот прямоугольник сместится и превратится в окрашенную полоску, где постепенные переходы цветов от красного до фиолетового совпадают с теми, которые можно наблюдать в радуге (рис. 109). Ньютон знал, что, проходя через призму, лучи света испытывают *преломление,* т. е. меняют угол направления своего движения. Теперь оказалось, что лучи разного цвета меняют этот угол по– разному. На основании этого наблюдения Ньютон сделал вывод, что *лучи разного цвета преломляются призмой неодинаково.*

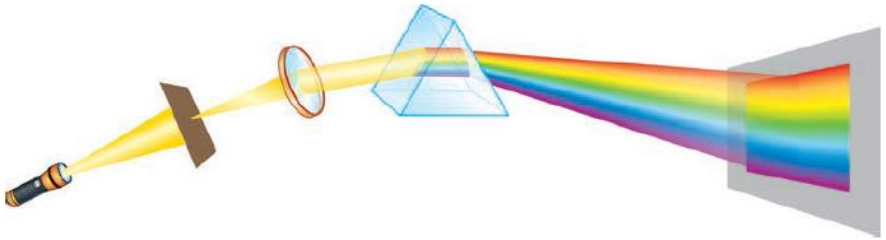


Рис. 109. Дисперсия света на призме

Обнаруженное им радужное изображение он назвал ***спектром*** (от лат. spektrum – видение), а само явление разложения света на различные цветовые составляющие – ***дисперсией.*** Таким образом, оказалось, что белый свет представляет собой смесь различных цветов. Эксперименты и выводы Ньютона опровергли распространённое до этого времени мнение о том, что цвет является свойством окрашенных предметов, т. е. цвет приобретает окраску при столкновении с цветными поверхностями. Но если это так, то от чего зависит цвет всех предметов, которые находятся вокруг нас и окраска которых является их естественным свойством?

Возьмём какой-нибудь прозрачный окрашенный предмет, например цветное стекло или пластик. Положим его на стол и посмотрим на него в падающем сверху свете. Допустим, что его цвет будет синим. Это значит, что те лучи, которые он от себя *отражает* и которые после этого попадают в наш глаз, будут синими, т. е. в глаза попадает излучение, имеющее такую длину волны, которая воспринимается человеком как синий цвет. Теперь посмотрим через этот прозрачный предмет на свет. Мы убедимся, что всё, что мы видим, станет тоже синим. А это означает, что наше стекло *пропускает* через себя только синее излучение. Можно проделать наблюдения с прозрачными предметами любого цвета и убедиться в том, что во всех случаях они будут отражать и пропускать одно и то же излучение. Это значит, что предмет данного цвета выбирает для отражения и пропускания только небольшую часть из всего спектра белого света. Что происходит с остальной частью спектра? Она *поглощается* окрашенным предметом.

Если мы имеем дело с непрозрачным предметом, то он не пропускает никакого света, а может только отражать и поглощать. Белый предмет отражает весь видимый спектр, потому он и выглядит как белый. Чёрный же не отражает никакого света – все падающие на него лучи он поглощает. Поэтому от него в наш глаз

не попадает никакого излучения, что воспринимается как чернота. Именно по этой причине люди в жару стараются носить белую или светлую одежду, в наибольшей степени отражающую солнечные лучи, тогда как одежда чёрного цвета большинство лучей поглощает и от этого нагревается. Всё же цветные предметы поглощают свет избирательно, в определённых областях видимого спектра, а все остальные падающие на них волны, отражают. Этот отражённый свет и попадает нам в глаза, вызывая ощущение определённого цвета. Соответственно, сочетание всех волн, которые поглощаются веществом, образует его ***спектр поглощения,*** а тех, которые им отражаются, – ***спектр отражения.*** Таким же образом для прозрачных тел можно определить ***спектр пропускания***, который, как мы уже сказали, в основном совпадает со спектром отражения.

Но для того чтобы что-то могло поглотить или отразить свет, этот свет должен откуда-то прийти. Другими словами, всякий свет должен иметь источник. Таким источником может быть Солнце, Луна, звёзды, электрическая лампа, свеча и многое другое.

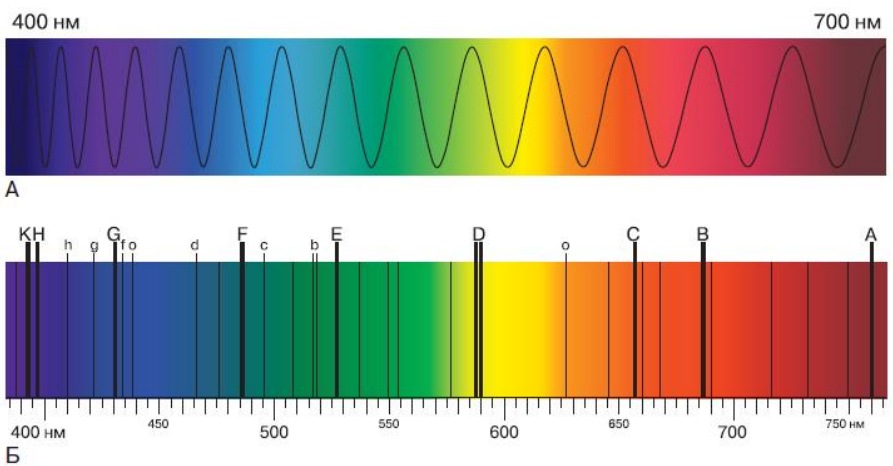


Рис. 110. Непрерывный (А) и линейчатый (Б) спектры

Свет, испускаемый этим источником, иногда может быть белым, как свет Солнца, а иногда в нём будут преобладать волны с какой-то определённой длиной. Так, свет лампочки накаливания является почти белым, но с некоторым преимуществом жёлтой части спектра, а цвет огня в печи или костре имеет хорошо выраженную красную составляющую. В то время, когда не было цветных телевизоров, изображение на экранах называлось чёрно-белым, однако «белый» фон был не совсем таким, в нём явно просматривался голубой оттенок.

Отсюда и названия передач старого телевидения, например «Голубой огонёк». Совокупность волн всех частот, испускаемых данным источником света, называют его ***спектром испускания.***

Для изучения спектров, испускаемых различными источниками, применяют приборы, называемые спектрометрами. Если направить спектрометр на Солнце или электрическую лампу накаливания, можно увидеть полосу, в которой представлены все цвета спектра, плавно переходящие друг в друга. Такой спектр называют ***сплошным*** или ***непрерывным*** (рис. 110, А). Другой вид имеют спектры, испускаемые светящимися газами. Они состоят из чётко разграниченных линий. Каждая линия чётко отграничена от соседних линий чёрными полосами и представляет собой узкий интервал, в котором содержится излучение, которое соответствует определённой длине волны. Такой спектр принято называть ***линейчатым*** или ***прерывистым*** (рис. 110, Б). С помощью спектрометра можно исследовать как спектры испускания, так и спектры поглощения.

Первым исследователем, обратившим внимание на спектральные линии, был **Йозеф Фраунгофер** (1787–1826). В его честь эти линии были названы *фраунгоферовыми линиями.* В 1850 г. **Густав Кирхгоф** (1824–1887) и **Роберт Бунзен** (1811–1899) пришли к выводу, что каждый химический элемент имеет свой уникальный линейчатый спектр и, в частности, по спектру небесных светил можно определить их химический состав. В результате их исследований в науке появился новый метод, называемый ***спектральным анализом,*** с помощью которого можно определять состав веществ даже на больших расстояниях. С помощью этого метода инертный газ гелий был открыт на Солнце почти на тридцать лет раньше, чем на Земле, и именно в честь Солнца получил своё название.

Проверьте свои знания

1. Как называется разложение спектра на различные цветовые составляющие?

2. Какие виды спектров могут быть характерными для физического тела?

3. От чего зависит воспринимаемый глазом цвет предмета?

4. Для каких целей используют спектральный анализ?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Зажгите газовую горелку и бросьте в её пламя щепотку поваренной соли. Вы увидите, как пламя окрасится в жёлтый цвет. Как вы думаете, почему? В дальнейшем можно поочерёдно бросать в пламя различные порошки или брызгать различными негорючими жидкостями. Пронаблюдайте, как в каждом случае будет изменяться цвет пламени.

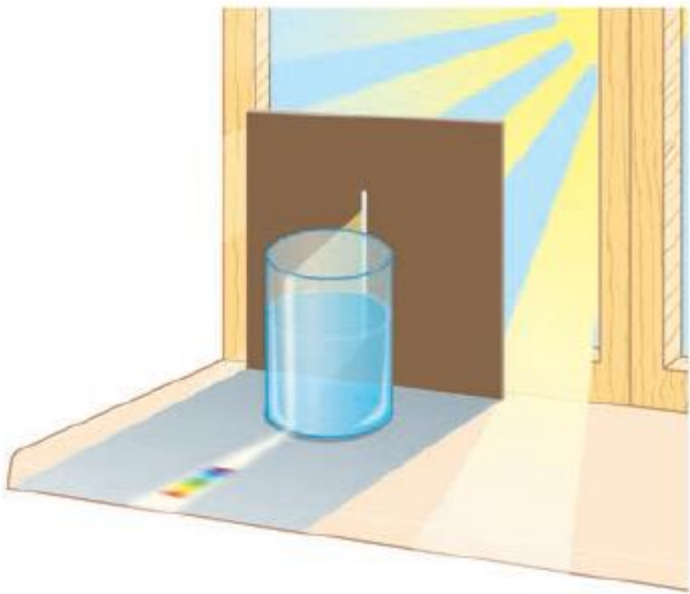


Рис. 111. Иллюстрация к заданию 3

3. Выполните практическую работу «Разложение света». Для этого вам понадобится кусок картона, обычный стакан с водой и белая бумага (рис. 111). Прорежьте в картоне длинную узкую щель. На солнечном месте поставьте на белую бумагу стакан, а между ним и солнцем – картон с щелью. Вы увидите, что солнечные лучи, проходя через щель, а затем через воду в стакане, разлагаются на разные цвета. На бумаге появится последовательность цветных полосок.

§ 43 Атомная модель Бора

О, Ты, непостижимый Атом,
Шедевр творения Творца!
Где тот Материи анатом,
Который смог бы до конца,
Чрез формулу иль созерцаньем,
Иль опытом, когда-нибудь
Постичь Божественную Суть
Тебя – основы Мирозданья?

В каких начертано скрижалях
То Слово, что в Тебе звучит?
То Слово, что в Тебе искали
Первопроходец Демокрит,
Отец Системы Менделеев,
Твою Модель создавший Бор,
И сонмы прочих галилеев
Найти мечтали с давних пор?

Джанто

Спектральный анализ в сочетании с квантовой теорией позволили датскому физику **Нильсу Бору** (1885–1962) предложить в 1913 г. новую модель атома. Мы уже говорили о том, что главный недостаток модели атома, предложенной Резерфордом, заключался в том, что электрон, двигаясь по орбите вокруг атомного ядра, должен постоянно излучать энергию и, потеряв её, через самое непродолжительное время упасть на ядро. Бор предположил, что электроны в атомах могут находиться в некоторых стабильных состояниях, т. е., согласно термину Резерфорда, на определённых орбитах. Эти орбиты не могут находиться на любом расстоянии от ядра, для них существует набор определённых фиксированных положений, которые называют ***квантовыми уровнями.*** Энергия электрона зависит от расстояния его орбиты до атомного ядра. Электроны,

находящиеся на таких орбитах, не излучают электромагнитных волн, поскольку, теряя энергию, он должен перейти на более низкую орбиту.

Однако переход электронов с более высокой орбиты на более низкую возможен. Это явление называется квантовым скачком, который, как и всё в квантовой физике, трудно представить наглядно. Электрон мгновенно исчезает с одной орбиты и возникает на другой. Если эта новая орбита имеет более низкий уровень, то электрон теряет энергию, которая *испускается* атомом в виде кванта излучения, т. е. фотона (рис. 112). Частота этого излучения равна, как мы знаем, энергии кванта, делённой на постоянную Планка. Если разность энергий между орбитами мала, то происходит излучение в красной области спектра, а если велика, то в синей или даже ультрафиолетовой его области.

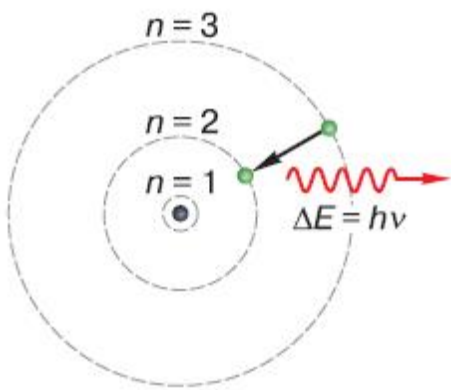


Рис. 112. Схема испускания и поглощения фотона при переходе электрона на другую орбиту

Соответственно, для того чтобы совершить квантовый скачок на более высокую орбиту, электрон должен *поглотить* квант энергии. Величина этой энергии определяет орбиту, на которой этот электрон окажется. Электроны, следовательно, могут двигаться в атоме вверх и вниз скачками с одного квантового уровня на другой, не занимая промежуточных положений.

Это подобно тому, как постоялец в гостинице может переехать в другой номер, находящийся на несколько этажей выше или ниже прежнего, но никогда не согласится ночевать на лестнице. Аналогию можно продолжить, если предположить, что в данном отеле комфортность, а следовательно, и цена номеров увеличивается с повышением этажа проживания. Тогда при переезде на более низкий этаж постоялец получит разницу в стоимости, а при переселении наверх должен будет эту разницу

доплатить.

Такое представление об атоме позволяет понять, почему испускание и поглощение света происходит не непрерывно, а отдельными участками, которые образуют линии спектра. Переходя с орбиты на орбиту, электрон испускает или поглощает не любое количество энергии, а только такое, которое соответствует разности квантовых уровней этих орбит. Допустим, энергия электрона, находящегося на самой высокой либо ~ орбите n, равна E_n , на орбите m – E_m, а на орбите k – E_k . С орбиты E_n электрон может перейти либо на орбиту E_m, либо на орбиту E_k. При этом он может испустить фотоны с энергией либо $(E_n - E_m)$, либо $(E_n - E_k)$, либо $(E_m - E_k)$ без всяких промежуточных значений. Точно так же, поднимаясь с более низкой орбиты на более высокую, он может поглотить только те фотоны, энергия которых равна либо $(E_n - E_m)$, либо $(E_n - E_k)$. Фотоны, обладающие другими значениями энергии, он оставит без внимания. Если номер на первом этаже отеля стоит 1000 рублей, на втором – 2000, а на третьем – 5000 рублей, то при переезде постоялец должен будет заплатить (или получить) 1000, 3000 или 4000 рублей. Никакие другие суммы при таком расчёте не могут быть использованы.

Всем известно, что многие вещества начинают светиться, т. е. испускать свет, в процессе их нагревания. Это происходит потому, что, приобретая энергию, атомы начинают совершать колебательные движения с большой амплитудой и чаще сталкиваются друг с другом. Потребляя тепловую энергию, их электроны переходят на более высокие орбиты. Долго удержаться на этих орбитах они не могут и возвращаются на освободившиеся низкие орбиты, испуская полученную энергию в виде фотонов света. Чем больше полученная энергия, тем больше будет и энергия испущенного фотона, а следовательно, тем больше будет и частота испускаемого излучения. Эта закономерность закрепилась в народном выражении: «раскалиться не докрасна, а добела». Она объясняется тем, что при небольшой степени нагрева предмет (например, металл) содержит мало энергии и её хватает только на низкочастотное красное излучение. По мере увеличения температуры в испускаемом спектре появляются волны, обладающие всё большей частотой, и в результате в нём начинают присутствовать все области спектра. Поэтому излучение становится белым. При ещё большем нагреве можно сдвинуть спектр в область ещё больших частот и получить голубое излучение. В астрономии известно, что цвет наблюдаемых звёзд зависит от их температуры. Самые холодные представляются нам красными, те, что погорячее, – белыми, а

самые раскалённые – голубыми.

Проверьте свои знания

1. От чего зависит энергия электрона в атоме?

2. Что происходит во время квантового скачка?

3. Что требуется для того, чтобы электрон переместился на более высокую орбиту?

4. Как зависит цвет испускаемого нагретым телом излучения от температуры этого тела?

§ 44 Основные понятия квантовой физики

Я смело могу сказать, что квантовой физики никто не понимает…И если вы просто согласитесь, что, возможно, природа ведёт себя именно таким образом, то вы увидите, что это очаровательная и восхитительная особа. Если сможете, не мучайте себя вопросом «Но как же так может быть?», ибо в противном случае вы зайдёте в тупик, из которого ещё никто не выбирался. Никто не знает, как же так может быть.

Р. Фейнман, лауреат Нобелевской премии, один из крупнейших специалистов в области квантовой физики

Противоречивость квантового и волнового поведения света вызывала полное недоумение у физиков в начале XX в. В середине 20-х гг. противоречия удалось разрешить, создав новую науку – квантовую физику (квантовую механику). Новая наука позволила согласовать волновые и корпускулярные представления о природе света, а также объяснить строение атома, свойства элементарных частиц и другие при родные явления. Правда, для этого ей пришлось пожертвовать привычными и кажущимися очевидными представлениями об окружающем нас мире. Положения новой науки оказались настолько непривычными, что не только дилетанты, но и многие серьёзные учёные долгое время отказывались в них верить.

При знакомстве с основами квантовой физики лучше всего не задавать вопроса: «А как же это происходит на самом деле?» Ответ на этот вопрос всегда будет один: на самом деле именно так всё и происходит. Причина недоумения заключается в том, что многие явления и законы микромира резко отличаются от тех явлений, которые происходят в обычном для нас макромире.

Рис. 113. Луи де Бройль

Обычно всякое объяснение строится на аналогии: «это похоже на то, как…» или «это явление напоминает нам…». Для описания же того, что происходит в микромире, у нас нет никаких аналогий, потому что в макромире ничего подобного не происходит. Однако приходится поверить в эти законы просто потому, что они доказаны экспериментально и теоретически.

В 1924 г. молодой французский физик **Луи де Бройль** (1892–1987) (рис. 113), занимавшийся исследованием рентгеновского излучения, выдвинул необычайно смелую гипотезу. Он предположил, что если волны света обладают свойствами частиц, то и такие частицы, как атомы, протоны и электроны, должны обладать свойствами волны, т. е. свойство быть одновременно и волной, и частицей, называемое ***корпускулярно-волновым дуализмом*** (слово «дуализм» означает двойственность, двойную природу), присуще всем объектам микромира.

Не следует думать, что между микро– и макромиром существует резкая граница, где перестают действовать квантовые законы и начинаются привычные для нас законы физики. Как это ни удивительно, любой предмет можно рассматривать как волну. Допустим, что частица массой в 1 г движется со скоростью 1 м/с. Тогда её можно представить как волну, длина которой составляет 10^{-19} мкм. Эта величина настолько мала, что лежит за пределами любого измерения, поэтому говорить о волновых свойствах таких больших частиц не имеет никакого смысла. Для малых же объектов, таких как атомы и элементарные частицы, волновые

свойства имеют очень большое значение.

Гипотеза де Бройля впервые была экспериментально подтверждена в 1927 г., когда для электронов было обнаружено явление дифракции, которая, как вы знаете, является непременным свойством волны. В дальнейшем были доказаны волновые свойства протонов и других элементарных частиц, а также атомов и молекул. В настоящее время эти волновые свойства широко используются в технических установках.

Рис. 114. Вернер Гейзенберг

Почти в одно время с де Бройлем молодой немецкий физик **Вернер Гейзенберг** (1901–1976) (рис. 114) предположил: к квантовым процессам вообще неприменимы многие положения классической механики хотя бы по той причине, что при исследовании микромира невозможно само понятие «измерение» в том смысле, в каком оно понимается в макромире. Одним из основных понятий физики является скорость, т. е. расстояние, на которое тело переместилось за единицу времени. Но как мы можем узнать, что оно переместилось и тем более насколько оно переместилось? Очень просто: мы видим или каким-то образом определяем его месторасположение в один момент времени, а затем – через определённый промежуток времени. Но для того чтобы что-то увидеть, надо, чтобы от этого «чего-то» отразился фотон или электрон, который попадёт в наш глаз или в любой другой регистрирующий прибор. Но если отражение таких частиц практически не повлияет на обычный, пусть и очень маленький

предмет, такой как бактерия или даже молекула, то на движении электрона он скажется весьма значительно, и тот изменит свою скорость. Получается, что мы не можем определить местонахождение электрона, не изменив при этом его скорости. В результате Гейзенберг сформулировал ***принцип неопределённости,*** согласно которому, невозможно одновременно точно измерить положение частицы и её скорость. Чем точнее мы измеряем координату частицы, тем большую ошибку допускаем в определении её скорости, и наоборот.

В отличие от классической физики, где требуется максимально абстрагироваться от самого факта измерения или наблюдения и предполагается, что само проведение эксперимента никак не сказывается на свойствах изучаемого объекта, в квантовой механике дело обстоит совершенно иначе. Сам факт измерения изменяет свойства объекта, и избавиться от этого невозможно. В квантовых исследованиях мы всегда наблюдаем не сам объект, а результат его взаимодействия с измеряющим прибором. Соответственно, разные приборы дают разные результаты. Это происходит не потому, что эти приборы неисправны или недостаточно точны, а потому, что они измеряют различные свойства объекта. Если мы хотим исследовать свойства электрона как частицы, то он ведёт себя как частица. Если же мы хотим изучать его волновые свойства, то он будет вести себя как волна. В этом и заключается предложенный Бором ***принцип дополнительности:***

> *объекты микромира ведут себя и как волны, и как частицы, причём одно описание не исключает, а дополняет другое.*

На самом деле электроны и фотоны не являются ни волнами, ни частицами, а представляют собой нечто иное, не имеющее аналогов в макромире. Это «иное» иногда похоже на знакомые нам морские волны, а иногда – на обычные физические тела.

Теперь вы убедились в том, что квантовая физика действительно в какой-то степени странная наука. Многие серьёзные учёные в течение долгого времени отказывались верить в квантово-волновой дуализм. Множество экспериментов, проводимых с целью «установить истинную природу» квантовых частиц и доказать, что они являются «на самом деле» частицами или, наоборот, волной, потерпели полную неудачу. Как ни удивительны законы микромира, они являются объективными законами Природы, и их приходится признавать.

Проверьте свои знания

1. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?

2. Почему в макромире не учитывают квантовых законов?

3. В чём заключается принцип неопределённости Гейзенберга?

Задания

Чему равна энергия кванта электромагнитного излучения с длиной волны, составляющей 300 нм, если учесть, что излучение распространяется со скоростью света, а постоянную Планка принять равной 10^{-34} Дж с?

§ 45 Современные представления о строении атома

Строение ядра.

Термин «атом» сохранился в современной науке, несмотря на то что уже давно стало понятно, что эта частица не является собственно «атомом», т. е. «неделимым». В настоящее время известно, что атом состоит из ядра и окружающей его электронной оболочки, которую также называют электронным облаком. Ядро обладает положительным электрическим зарядом, а электроны – отрицательным, поэтому они удерживаются около атомного ядра за счёт силы электростатического притяжения. В то же время между электронами действует сила электрического отталкивания. Совокупность этих взаимодействий определяет устойчивость атома. Положительный электрический заряд ядра атома всегда равен по абсолютной величине сумме отрицательных зарядов электронов, окружающих ядро. Поэтому суммарный заряд атома равен нулю, т. е. атом является электрически нейтральным. Если под воздействием внешней энергии один или несколько электронов покидают атом, тот приобретает положительный заряд и становится положительно заряженным ***ионом.***

Атомное ядро по размеру составляет менее одной стотысячной части всего атома, однако масса ядра примерно в 4000 раз больше, чем масса всех входящих в него электронов. Так как электронное облако не имеет резкой границы, размеры атомов определяют по расстоянию между их ядрами в молекулах. Радиус самого маленького атома (гелия) составляет тридцать две миллиардных миллиметра, а самого большого (цезия) – приблизительно в семь раз больше. Эти размеры в тысячи раз меньше, чем длина волны видимого света, поэтому атомы невозможно увидеть в обычный световой микроскоп. Отдельные атомы можно наблюдать только с помощью современных микроскопов, использующих квантовые эффекты. Для того чтобы получить представление о размере атомов, надо представить себе, что яблоко увеличилось до размеров Земли. Тогда размеры атомов будут равны размеру первоначального яблока.

Масса атома определяется главным образом массой его ядра, которое состоит из двух видов частиц, называемых ***нуклонами*** (от лат. nucleus – ядро), имеющих почти одинаковую массу. Нуклоны

бывают двух видов: положительно заряженные ***протоны*** и нейтральные ***нейтроны.***

Вид атома с определённым зарядом ядра называют химическим элементом. Атом каждого элемента отличается от других числом протонов в атомном ядре, которое соответствует его порядковому номеру в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева и числу электронов в электронной оболочке. Кроме того, число протонов определяет электрический заряд ядра, так как электрически нейтральные нейтроны не вносят в него вклада. Поэтому число протонов в ядре какого-либо атома называют его ***зарядовым числом.*** Самое простое строение имеет атом водорода. Он состоит всего из одного протона и одного электрона. Другие элементы обязательно имеют в составе своего ядра нейтроны. Так, ядро атома гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов.

Масса ядра определяется суммой масс составляющих его протонов и нейтронов и называется атомной массой. Поскольку масса атомов очень мала, её неудобно измерять непосредственно в граммах. Поэтому в практических целях используют величину, называемую ***массовым числом,*** которая равна числу всех входящих в ядро нуклонов. Масса одного протона или нейтрона, таким образом, принимается за единицу.

Изотопы

Может показаться, что каждый химический элемент должен всегда иметь определённое зарядовое число и определённую атомную массу. Однако это утверждение верно только в отношении зарядового числа. Ещё в начале XX в. было обнаружено, что некоторые элементы, проявляющие одинаковые свойства в химических реакциях, состоят из атомов, имеющих различную атомную массу. Атомы одного и того же элемента, имеющие различную массу, были названы ***изотопами***. Встречающиеся в природе элементы чаще всего являются смесью нескольких изотопов, один из которых является преобладающим. Атомы всех изотопов одного элемента имеют одинаковый заряд ядра и, соответственно, занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов. Различие между ними заключается в числе содержащихся в ядре нейтронов.

Ядро атома гелия чаще всего содержит два нейтрона, но встречаются изотопы, число нейтронов в ядре которых равно одному или трём. Кислород в природе может существовать в виде трёх изотопов с восемью, девятью или десятью нейтронами. При

этом число протонов в ядре атома кислорода и, следовательно, его зарядовое число и атомный номер всегда равны восьми. Водород является первым элементом периодической системы элементов. Ядро его атома содержит всего один протон и чаще всего вообще не содержит нейтронов. Такой изотоп водорода называют ***протий***. Однако в природном водороде содержится почти 0,02 % изотопа, называемого ***дейтерием*** и содержащего один нейтрон (рис. 115, А). Соответственно, атомная масса дейтерия равна двум.

Рассмотренные изотопы гелия, кислорода и водорода называют ***стабильными,*** так как они устойчивы и не подвергаются самопроизвольному распаду. К настоящему времени в природе обнаружено 270 стабильных изотопов. Кроме них существуют и ***нестабильные*** изотопы, ядро которых неустойчиво и подвержено постоянному распаду. Эти изотопы чаще всего встречаются у тяжёлых элементов, т. е. элементов с большой атомной массой. Нестабильные изотопы часто получают искусственно при помощи ядерных реакций. Таким способом можно получить, например, нестабильный изотоп водорода, в ядре которого находятся два нейтрона. Этот изотоп водорода называется ***тритием*** из-за того, что его атомная масса равна трём (один протон плюс два нейтрона) (см. рис. 115, А).

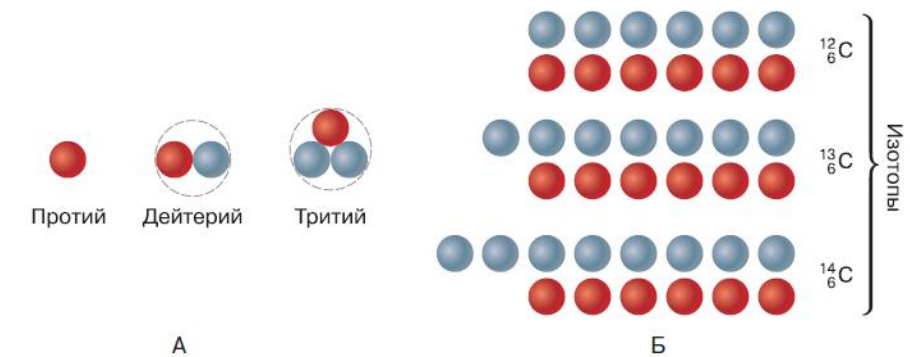


Рис. 115. Состав атомных ядер: А – водорода; Б – углерода (красные шарики – протоны, голубые – нейтроны)

Большинство природных химических элементов существуют в виде нескольких устойчивых изотопов (рис. 115, Б). Например, железо имеет четыре стабильных изотопа, ртуть – семь, а олово – десять. Поэтому атомная масса элементов выражается дробным числом. Так, хлор, встречающийся в природе, на 76,5 % состоит из изотопа с атомной массой, равной 35, и на 24,5 % – из изотопа с массой 37. Поэтому средняя атомная масса хлора равна

приблизительно 35,5.

Как следует из самого названия, нестабильные изотопы не могут существовать в течение неограниченного периода времени и постоянно распадаются. Скорость распада ядер этих изотопов измеряется их ***периодом полураспада*** – временем, за которое первоначальное количество частиц уменьшается вдвое. У большинства нестабильных изотопов этот период составляет не более нескольких секунд, хотя известны изотопы с периодом полураспада в миллионы лет. Во время распада ядра таких атомов испускают радиоактивное излучение. Таким образом, можно сказать, что все неустойчивые изотопы обладают радиоактивностью (рис. 116).

Химические свойства элементов, т. е. их способность вступать в химические реакции, не зависят от числа нейтронов в ядре атома, а связаны со строением его электронной оболочки. Поэтому в химическом отношении все изотопы одного элемента являются абсолютно одинаковыми. Эту особенность используют во многих областях науки, техники и медицины. Таким образом можно, например, судить о превращениях какого-либо химического вещества в организме и о местах его включения в клетки и ткани. Можно синтезировать биологически активное вещество, включив в него неустойчивый радиоактивный изотоп какого-либо атома, например углерода или азота. В химическом и биологическом отношении это вещество ничем не будет отличаться от такого же вещества, не содержащего радиоактивного изотопа. В какие бы другие соединения это вещество ни превращалось, как бы ни изменялось строение его молекулы, радиоактивное излучение нестабильного атома всегда будет сохраняться. Если затем ввести это вещество в кровь, то, измеряя испускаемое этим изотопом слабое, безопасное для организма, радиоактивное излучение в различных участках человеческого тела, можно судить о том, где и в каких количествах накапливается в организме это вещество или продукты его обмена. Постепенно эти продукты или само вещество будут выводиться из организма, и по уменьшению радиоактивности можно определить скорость их выведения. Такой метод получил название исследования с применением «меченых атомов».

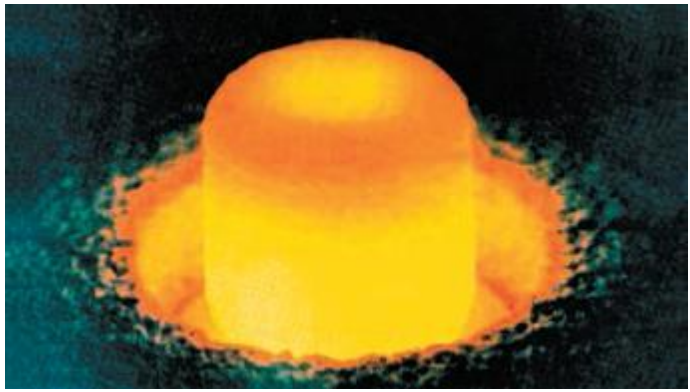


Рис. 116. Радиоактивный металл кюрий светится в темноте, испуская большое количество ядер гелия

Сильное и слабое взаимодействие.

При знакомстве со строением атомного ядра возникает естественный вопрос: с помощью каких сил нуклоны удерживаются друг около друга? Мы знаем, что протоны и электроны, будучи противоположно заряженными, взаимно притягиваются, и именно это электрическое поле определяет устойчивость атома в целом. Но поскольку все протоны заряжены одинаково положительно, они должны отталкиваться друг от друга и ядро должно немедленно разрушиться. Нейтральные нейтроны не могут вмешиваться в этот процесс, а сила гравитации настолько мала по сравнению с электромагнитной, что никак не может препятствовать этому распаду. Почему же ядро может существовать в неизменном виде миллиарды лет?

Оказывается, что в природе, помимо двух уже известных нам фундаментальных взаимодействий – гравитационного и электромагнитного, существуют ещё два типа взаимодействий, называемых ***сильным*** **и** ***слабым.*** Первое из них удерживает нуклоны внутри атомного ядра, а второе обнаруживается при превращениях элементарных частиц. Главной особенностью сильного взаимодействия, отличающей его от гравитационного и электромагнитного взаимодействий, является то, что оно действует только на очень малых расстояниях, соизмеримых с размером нуклонов. Эти расстояния составляют около 10^{15} м. На таких расстояниях эта сила становится столь огромной, что по сравнению с ней можно пренебречь всеми электромагнитными, не говоря уже о гравитационных, взаимодействиями между нуклонами. Слабое взаимодействие тоже распространяется только на очень малые расстояния, но превышает оно только силу

гравитации.

Проверьте свои знания

1. Что происходит с атомом, если он теряет один или несколько электронов?

2. Почему атомы невозможно увидеть с помощью светового микроскопа?

3. Какими частицами определяется масса атомного ядра, а какими – его заряд?

4. Что такое период полураспада атомного ядра?

5. Какие виды взаимодействия осуществляются внутри атомного ядра и элементарных частиц?

Задания

Подберите эпиграф к данному параграфу.

§ 46 Ядерный распад и элементарные частицы

Семь металлов создал свет
По числу семи планет.
Дал нам космос на добро
Медь, железо, серебро,
Злато, олово, свинец…
Сын мой! Ртуть для них отец.
И спеши, мой сын, узнать:
Сера всем – родная мать.

Заклинание алхимиков

Со времён александрийской науки, т. е. с первых веков нашей эры, в Египте, Византии, а затем на Арабском Востоке и в Европе сформировалось учение, получившее название ***алхимии.*** Алхимики, в отличие от чистых философов, не только предавались абстрактным рассуждениям о строении мира, но и проводили разнообразные эксперименты (рис. 117, 118). Главной целью алхимиков было превратить широко распространённые и дешёвые вещества в дорогие благородные металлы.

Рис. 117. Лаборатория алхимика

Рис. 118. Алхимические символы элементов

На протяжении веков алхимики утверждали, что достаточно приложить ещё немного усилий, и правильно подобранная смесь ртути, серы, олова, соли и других подобных веществ превратится в золото. Однако все эти многовековые попытки закончились неудачей, причина которой теперь нам известна.

Дело в том, что во времена Средневековья и раннего Возрождения не различали понятия «вещество» и «элемент». Теперь мы знаем, что в природе существуют виды атомов – химические элементы, простые вещества, состоящие из атомов

одного элемента, и химические соединения, молекулы которых состоят из атомов разных элементов, соединённых химическими связями. Химические связи могут возникать и разрываться в процессе химических реакций, поэтому возможны превращения одних соединений в другие. Но для того чтобы осуществить превращение одного элемента в другой, необходимо вмешаться в строение его атомного ядра, а такое вмешательство невозможно при обычной химической реакции. Поэтому сколько бы мы ни нагревали смеси различных элементов, ни прибавляли к ним соли и кислоты, нового химического элемента, серебра или золота, из них не получится. Для того чтобы превратить один элемент в другой, требуется изменить строение его атомного ядра, т. е. осуществить ***ядерную реакцию*** (рис. 119).

Несмотря на то что сильное взаимодействие очень прочно скрепляет нуклоны, в некоторых случаях атомное ядро может быть разрушено. Для того чтобы вызвать распад ядра, требуется затратить огромную энергию. Когда происходит ядерный распад, ядро теряет протоны или электроны, или и то и другое. В результате этого один элемент может превращаться в другой. Во время распада происходит испускание альфа-, бета– или гамма-излучения, поэтому этот процесс всегда сопровождается радиоактивным излучением и называется также ***радиоактивным распадом.*** В зависимости от того, какие частицы испускает атом при распаде, различают ***альфа-распад, бета-распад и гамма–распад.***

Альфа-распад.

При альфа-распаде происходит освобождение альфа-частиц, которые представляют собой ядра гелия, т. е. состоят из двух протонов и двух нейтронов. После потери этих частиц атом данного элемента превращается в атом другого элемента, порядковый номер которого в периодической таблице оказывается на два номера меньше, чем у исходного.

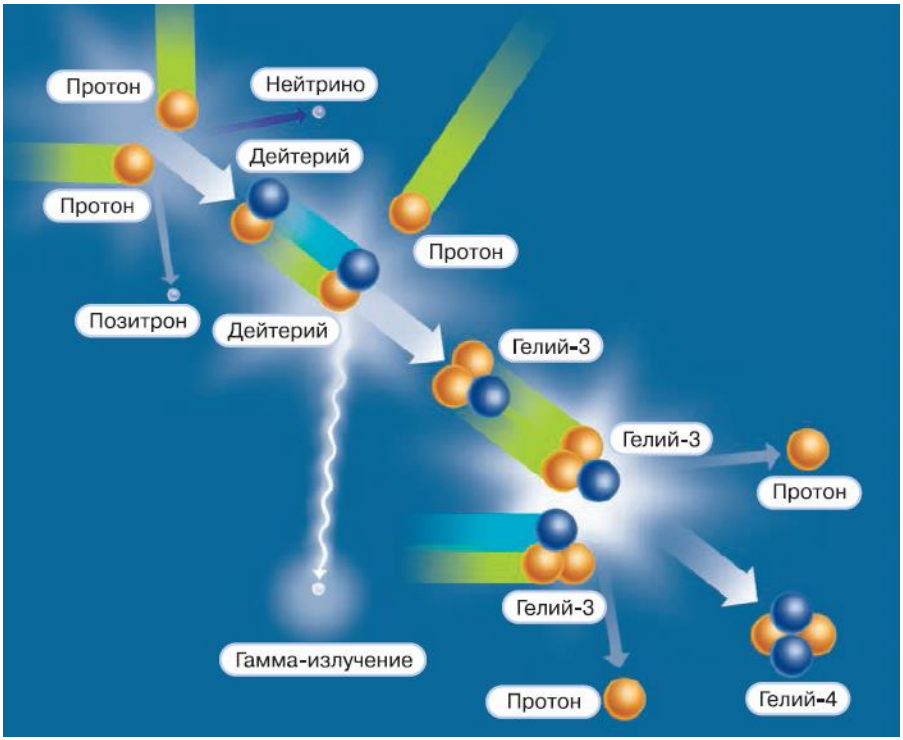


Рис. 119. Схема ядерной реакции

Так, например, уран, имеющий порядковый номер 92 и атомную массу 238, превращается в торий с порядковым номером и атомной массой 90 и 234 соответственно.

Бета-распад.

Бета-распад представляет собой другой процесс, вызывавший в течение долгого времени недоумение. Как вы уже знаете, бета-лучи, открытые Резерфордом, представляют собой поток электронов. Сразу же было обнаружено, что это не те электроны, из которых построена электронная оболочка атома. Они возникают только при ядерном распаде и, несомненно, испускаются ядром. Кроме того, энергия их испускания меняется не скачками, а непрерывно, т. е. эти электроны не находятся на квантовых орбитах. Откуда же они берутся?

Выяснилось, что в процессе ядерных реакций нейтрон может распадаться на протон и электрон. Отрицательно заряженный электрон при этом вылетает из атомного ядра, а нейтрон, потеряв отрицательный заряд, становится протоном. Очевидно, что при этом масса ядра не изменяется, а его положительный заряд

становится на единицу больше. Следовательно, также на единицу увеличивается порядковый номер элемента. Одним из самых простых примеров бета-распада служит превращение изотопа водорода трития в инертный газ гелий, лежащее в основе термоядерных реакций. Как вы знаете, ядро трития состоит из одного протона и двух нейтронов, и поэтому тритий, как и остальные два изотопа водорода, имеет порядковый номер 1. Если в результате бета-распада и испускания электрона один из нейтронов превращается в протон, то образуется другой элемент – гелий, имеющий порядковый номер 2, так как он содержит два протона и один нейтрон.

При исследовании бета-распада обнаружился ещё один интересный факт. Оказалось, что покидающий ядро электрон обладает меньшей энергией, чем следовало из проведённых расчётов. Это настолько смущало физиков, что под сомнение был поставлен даже закон сохранения энергии. Однако вскоре выяснилось, что недостающую энергию уносит ещё одна вылетающая вместе с электроном частица. Эта частица, получившая название ***нейтрино,*** обладает целым рядом интересных в теоретическом и важных в практическом отношении свойств. Поскольку она не имеет электрического заряда, на неё не действует электромагнитное поле. Кроме того, она не участвует в сильном взаимодействии. На неё действует только слабое воздействие и гравитация, которую ввиду ничтожной массы нейтрино (во много раз меньшей, чем масса электрона) можно практически не принимать в расчёт. Поэтому нейтрино обладает необычайной проницаемостью, оно способно пролетать огромные расстояния, почти не поглощаясь никаким веществом. Это свойство очень важно для развивающейся науки – ***нейтринной астрономии.*** Поскольку звёзды в числе других излучений испускают и потоки нейтрино, наблюдение за сверхдальними объектами с помощью нейтринных телескопов может позволить получить очень ценные сведения о строении Вселенной.

Электроны, протоны, нейтроны и нейтрино являются представителями большого класса объектов, которые называют ***элементарными частицами.*** Эти частицы либо входят в состав атома, либо могут возникать в нём при различных процессах из других элементарных частиц. Своё название они получили потому, что их считали окончательно неделимыми составляющими атома. В настоящее время известно более 300 элементарных частиц, и их число продолжает расти. Большинство таких частиц нестабильны, т. е. очень быстро распадаются, образуя другие элементарные частицы. Поэтому для их обнаружения и тем более для исследования их свойств требуются

очень точные приборы. До середины XX в. элементарные частицы обнаруживали в основном в космических лучах, однако сейчас их исследование проводится с помощью специально созданных ускорителей. В них частицы можно разогнать до огромных скоростей, сопоставимых со скоростью света, а затем заставить их сталкиваться и наблюдать происходящие при этом превращения.

Гамма-распад

Исходя из того что при ядерном распаде происходит превращение одних частиц в другие, можно объяснить процесс гамма-распада. При таком распаде наблюдают электромагнитное излучение очень высокой частоты, которое, как вам известно, называют гамма– излучением. Возникает оно потому, что в результате альфа– и бета– распада может выделиться энергия, которой не хватит для того, чтобы образовать новые частицы. Для того чтобы освободиться от этой лишней энергии, атом испускает её в виде гамма-квантов.

Строение элементарных частиц.

В ходе развития теоретической физики выяснилось, что и элементарные частицы не являются на самом деле «элементарными», т. е. неделимыми. Некоторые из них, например протоны и нейтроны, состоят из ещё более мелких частиц, получивших название ***кварки.*** Размер кварка примерно в 20 тыс. раз меньше, чем размер протона. Главная особенность кварков заключается в том, что их, во всяком случае до сих пор, не удалось обнаружить вне элементарных частиц. Хотя кварки можно наблюдать только в группе, образующей какую-либо частицу, их удалось исследовать и вычислить физические свойства. Правда, для описания этих свойств не хватает физических терминов и не существует никаких аналогий с чем-либо известным, поэтому используются такие странные термины, как «цвет» и «аромат». (Кстати, само слово «странность» тоже используется в квантовой физике для характеристики элементарных частиц.) Однако, несмотря на неясность этих понятий, с ними можно производить расчёты, весьма точно описывающие свойства элементарных частиц.

Античастицы и антивещество.

В настоящее время известно, что каждая элементарная частица имеет свой аналог – античастицу, равную ей по массе, но противоположную по какой-либо другой характеристике, например по электрическому заряду. Первой из открытых античастиц был антиэлектрон, впоследствии названный ***позитроном.*** Он ничем не отличается от электрона, кроме того, что обладает не отрицательным, а положительным электрическим зарядом. Существование позитрона было теоретически предсказано в 1930 г. английским физиком **Полем Дираком** (1902–1984) и экспериментально доказано спустя два года. Впоследствии был открыт отрицательно заряженный антипротон и другие античастицы, в том числе и электрически нейтральные, как, например, антинейтрон. Можно представить себе мир, состоящий не из тех элементарных частиц, которые образуют окружающую нас природу, а из их антиподов, т. е. античастиц. Такой мир будет образован не веществом, а ***антивеществом.*** Ни по физическим, ни по химическим свойствам он не будет отличаться от нашего мира, все физические законы в этих двух мирах будут одинаковыми. Различие между ними может обнаружиться только в том случае, если они придут в соприкосновение: частицы и античастицы уничтожат друг друга. Это взаимоуничтожение называют ***аннигиляцией***. После этого частицы перестанут быть веществом, и вся их суммарная масса превратится в энергию, а точнее, в кванты электромагнитного гамма-излучения и в поток нейтрино, об ладающего ничтожной массой, но колоссальной энергией. Выделяемая при аннигиляции энергия огромна. Если привести в соприкосновение 1 г вещества и 1 г антивещества, образуется столько энергии, сколько её выделяется при взрыве мощной водородной бомбы. Антивещество можно было бы использовать в качестве источника энергии, полезной или разрушительной, как это описано в романе Дэна Брауна «Ангелы и демоны», если бы не две принципиальные проблемы. Первая заключается в необычайной дороговизне его производства, а вторая – в том, где его хранить. Любой сосуд, содержащий антивещество, должен состоять из вещества, а значит, при их контакте произойдёт немедленная аннигиляция. Предотвратить соприкосновение антивещества с веществом можно, только удерживая его в мощном магнитном поле с помощью специальных «ловушек». Такие эксперименты уже проводятся, но до практического использования антивещества ещё очень далеко. Для технических целей сейчас широко используют другую энергию – ту, которая выделяется при распаде атомного ядра. О её природе и устройстве технических приспособлений, в работе которых она участвует, вы узнаете из

последующих глав учебника.

Проверьте свои знания

1. Почему средневековым алхимикам ни в одном из экспериментов не удалось получить золото из неблагородных металлов?

2. В результате какого процесса при ядерном распаде возникает бета– излучение?

3. Какими свойствами обладает нейтрино?

4. Какие частицы называются кварками?

5. Что такое антивещество?

Задания

1. Используя дополнительные источники информации, выясните, каково происхождение термина «кварк».

2. Сделайте сообщение или презентацию «Гипотезы возникновения антивещества».

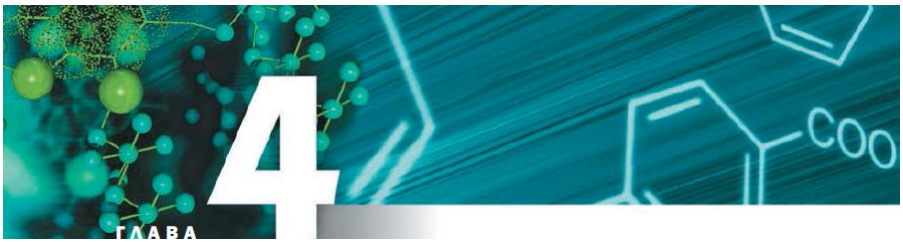
3. Подготовьтесь к конференции на тему «Антивещество: преимущества и противоречия».

4. Объясните, как материал данного параграфа связан с проблемой ядерного вооружения. Найдите информацию для проведения конференции на тему «Ядерное оружие: история создания и проблемы современности».

Ваша будущая профессия

Подготовьте сообщение об отечественных специалистах в области ядерной физики.

Химические элементы и вещества



§ 47 Периодический закон и периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева

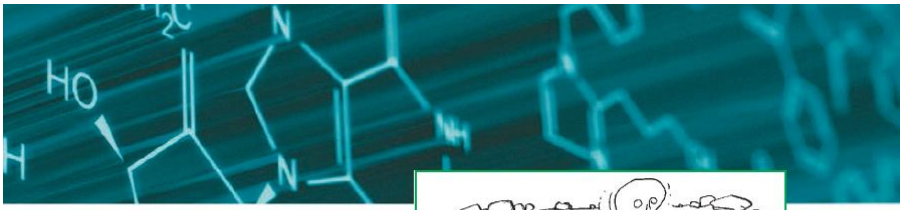
Вероятно, это самый компактный и полный значения сгусток знания, когда-либо изобретённый человеком.

Б. Кедров

Периодическому закону не грозит разрушение, а обещаются только надстройка и развитие.

Д. Менделеев

В процессе развития химии постепенно складывалось представление о химических элементах, а также о простых и сложных веществах. С современной точки зрения, химический элемент – это вид атома с определённым зарядом ядра. Простые вещества состоят из атомов одного элемента, а сложные – из атомов двух и более элементов. К середине XIX в. было известно уже более шестидесяти элементов, чуть больше – соответствующих им простых веществ, а также и множество сложных веществ: оксидов, гидроксидов, солей. Исследуя реакции, в которых участвуют те или иные простые вещества, химики установили, что некоторые из них обладают схожими химическими свойствами (например, хлор и бром, натрий и калий). В то же время существуют вещества, которые очень сильно различаются по свойствам (например, натрий и хлор). Возникла потребность в приведении всего множества элементов в какую-нибудь систему, которая позволила бы объяснить химические особенности различных веществ, образованных этими элементами. Попыток создания такой системы было предпринято много. Ближе всех к решению этой задачи подошёл в 1864 г. немецкий химик **Юлиус Лотар Мейер**, но настоящий закон, позволивший не только объяснить, но и предсказать свойства элементов на единой основе, открыл российский химик **Дмитрий Иванович Менделеев** (1834–1907) (рис. 120).



Открытию Д. И. Менделеевым периодического закона предшествовали годы упорного труда в поиске закономерностей, которые могли бы позволить описать изменение свойств элементов и их соединений на единой основе. Напомним, что в то время ещё ничего не было известно о строении атомов и их связи со свойствами химических элементов, хотя атомную массу, или, как тогда говорили, атомный вес, измерять умели. Именно атомную массу и принял Д. И. Менделеев в качестве главной характеристики при построении периодической системы. Расположив элементы в порядке возрастания атомных масс, Менделеев наблюдал периодическое изменение их свойств. Эту закономерность он сформулировал в виде ***Периодического закона химических элементов.***

В марте 1869 г. учёный представил свои результаты Российскому химическому обществу, а через два года опубликовал статью, в которой сформулировал этот закон так:

> *«Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел стоят в периодической зависимости от атомного веса».*

Суть открытия, сделанного Менделеевым, заключается в следующем. По мере увеличения атомной массы элементов их свойства постепенно меняются.

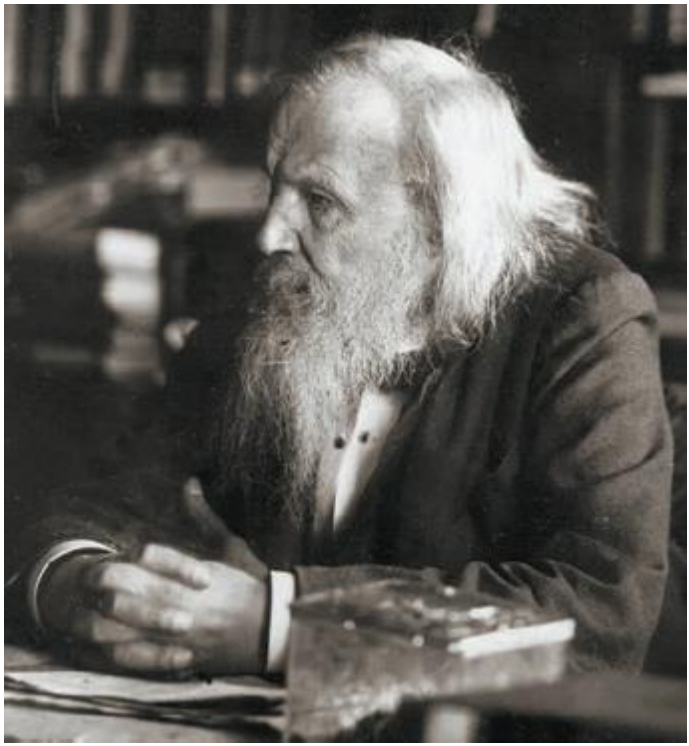
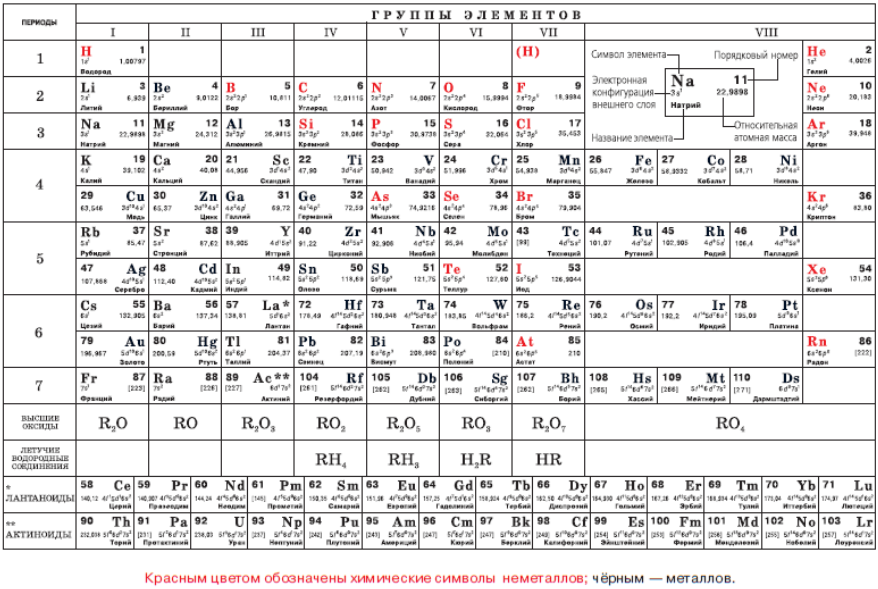


Рис. 120. Д. И. Менделеев

Однако в определённый момент после изменения атомной массы ещё на одну единицу свойства следующего элемента меняются резко, скачком, и этот элемент оказывается похож на тот, который уже был в цепочке элементов несколькими позициями ранее. Эта закономерность отражена в ***Периодической системе химических элементов.***



Красным цветом обозначены химические символы неметаллов; чёрным — металлов.

Рис. 121. Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева

Давайте внимательно рассмотрим периодическую систему (рис. 121). В её структуре различают горизонтальные ряды, которые образуют малые и большие периоды. Первый период содержит всего два элемента – водород и гелий. Второй и третий периоды тоже состоят из одного ряда, но содержат уже по восемь элементов. Начинаются они с щелочного металла (лития или натрия) и заканчиваются инертным газом (неоном или аргоном). Во всех периодах с увеличением относительных атомных масс (слева направо) наблюдается ослабление металлических и усиление неметаллических свойств элементов. Четвёртый и пятый периоды также начинаются щелочным металлом и заканчиваются инертным газом, но в каждом из них содержится по восемнадцать элементов. Эти периоды представлены двумя рядами в периодической системе и называются длинными периодами. Шестой период включает в себя 32 элемента, но в периодической системе тоже занимает два ряда с таким же числом ячеек, как и два предыдущих периода. Это возможно потому, что пятнадцать элементов из этого периода, обладающие почти одинаковыми химическими свойствами, помещены в одной ячейке под номером 57. Они называются лантаноидами по наименованию первого из них – лантана и перечислены в дополнительной строке. Аналогично обстоит дело с седьмым периодом, где в ячейке 89 вместе с актинием умещаются ещё

четырнадцать элементов, называемых актиноидами.

Вертикальные столбцы периодической системы – группы – образованы элементами, обладающими схожими химическими свойствами. Каждая группа делится на две подгруппы, которые раньше называли главной и побочной подгруппами. В настоящее время главную подгруппу обозначают латинской буквой А, а побочную – буквой В. Для примера рассмотрим первую группами. Щелочные металлы литий, натрий, калий, цезий, рубидий и франций образуют IA группу. Это одновалентные металлы, легко вступающие в химические реакции. В III группу входят медь, серебро и золото. Они тоже являются металлами, но их химические свойства отличаются от тех, которыми обладают щелочные металлы.

Периодический закон получил всеобщее признание не сразу. Во– первых, во время его открытия ещё ничего не было известно о строении атомов и его связи со свойствами химических элементов. Поэтому казалось, что обнаруженная Менделеевым закономерность не имеет под собой надёжной физической основы. Во-вторых, как оказалось, атомные массы некоторых элементов до этого были определены неправильно, и Менделеев взял на себя смелость изменить их, опираясь только на обнаруженную им периодическую закономерность. Он справедливо полагал, что эти вопросы найдут своё объяснение при выявлении сложной структуры атома. Впоследствии правота его утверждений подтвердилась. В-третьих, в периодической системе оказались пустые ячейки, которым не соответствовал ни один из известных на то время элементов. Менделеев предсказал, что эти элементы существуют, и действительно, в 1875 г. был открыт галлий, в 1879 г. – скандий, а в 1886 г. – германий. С середины 1880-х гг. периодический закон был окончательно признан, но полное своё объяснение он получил только после того, как стало известно строение атома.

Проверьте свои знания

1. Какая закономерность была положена Д. И. Менделеевым в основу открытого им периодического закона?

2. Какие элементы расположены в начале периодов в Периодической системе Д. И. Менделеева, а какие – в их конце?

3. Где в Периодической системе Д. И. Менделеева располагаются элементы со схожими химическими свойствами?

Задания

На основании сведений, полученных вами при изучении предыдущей главы, объясните, что означают числа, помещённые в каждой ячейке периодической системы. Почему многие из них являются дробными?

§ 48 Строение атома и свойства химических элементов

После того как физикам удалось многое узнать о строении атома, стало возможным применить эти знания для объяснения химических свойств элементов и теоретического обоснования Периодического закона Менделеева. Нам известно, что порядковый номер элемента в периодической системе соответствует числу протонов в его ядре (рис. 122). Так как протоны обладают положительным электрическим зарядом, а атом всегда электрически нейтрален, то положительный заряд ядра должен в точности уравновешиваться суммарным зарядом отрицательно заряженных электронов. Следовательно, число электронов в атоме всегда равно числу протонов в его ядре.

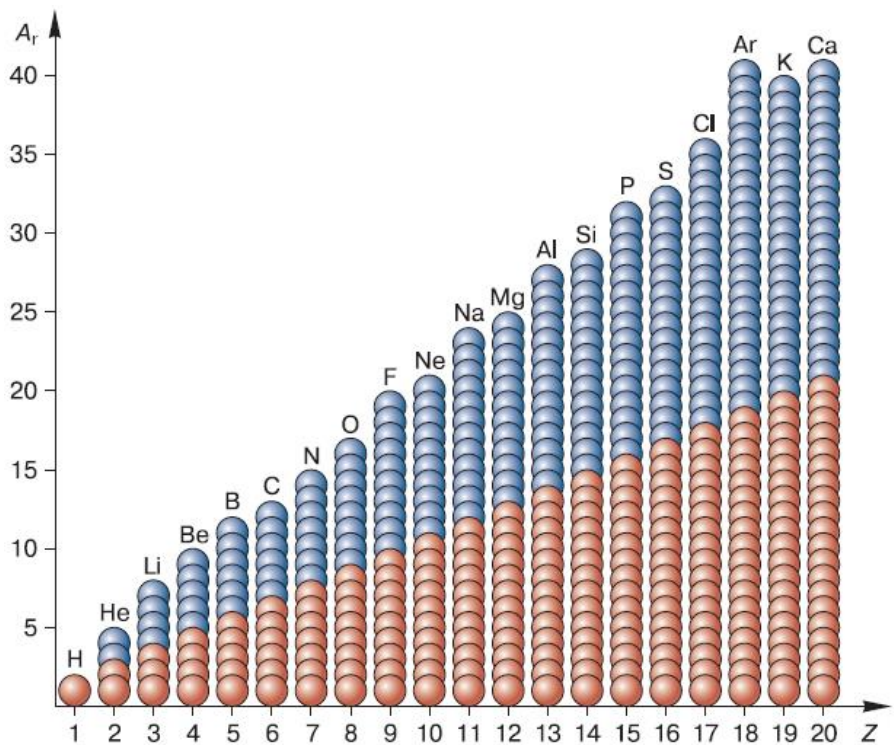


Рис. 122. Состав атомных ядер химических элементов № 1—20 таблицы Д. И. Менделеева (красные шарики – протоны; голубые – нейтроны; Z – порядковый номер элемента; Ar – массовое число, равное сумме протонов и нейтронов)

Находящиеся в ядре нейтроны, не имеющие электрического

заряда, влияют на массу атома элемента, но не определяют число движущихся вокруг ядра электронов.

Химические свойства атомов элементов определяются строением их электронной оболочки. Электроны в атоме, как вы знаете, находятся в определённых областях пространства, называемых орбиталями. Этот термин был введён вместо употреблявшегося ранее понятия «орбита» для того, чтобы не складывалось ощущения, что электрон вращается вокруг ядра по какой-то конкретной линии. В действительности электрон в атоме не имеет определённой траектории движения, более того, он проявляет свойства как частицы, так и волны. Квантовая механика рассматривает вероятность нахождения электрона в пространстве вокруг ядра. Наиболее вероятно нахождение электрона вблизи ядра. По мере удаления от ядра вероятность нахождения электрона в данной точке пространства постепенно снижается. Пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона, и называется орбиталью. Орбитали атома имеют разные размеры. Электроны, находящиеся на орбиталях близкого размера, образуют электронные слои. Электронные слои называют также энергетическими уровнями. Их нумеруют, начиная от ядра: 1, 2, 3, 4 и т. д. Энергетические уровни разделяются на подуровни. Подуровни принято обозначать латинскими буквами *s, p, d* и т. д. На *s*-подуровне находится только одна орбиталь, её, как и подуровень, называют *s*-орбиталью. На p-подуровне находятся три p-орбитали. Орбитали имеют разную форму: так, *s*-орбиталь имеет форму шара, *p*-орбиталь – форму гантели, или объёмной восьмёрки. Каждая орбиталь обладает своим особенным количеством энергии. Известно, что на одной и той же орбитали может находиться одновременно не более двух электронов.

По мере увеличения порядкового номера элемента в периодической системе растёт содержащееся в его ядре число протонов, а вместе с ним и число электронов, находящихся на различных энергетических уровнях. На первом уровне имеется только один *s*-подуровень, который обозначается как *1s*. Он может содержать один или два электрона. У атома водорода на этом уровне находится его единственный электрон (рис. 123, А). В ходе химического взаимодействия атомы могут отдавать или принимать электроны, превращаясь в заряженные частицы – ионы. Атом водорода легко расстаётся со своим электроном, отдавая его другим атомам и превращаясь в положительно заряженный ион H^+. Атом гелия имеет на том же уровне два электрона, поэтому его первая и единственная орбиталь оказывается заполненной (см. рис. 123, А). Новые электроны он

присоединить не может, а расставаться с теми, которые находятся на завершённой внешней оболочке, энергетически невыгодно. Поэтому гелий является инертным веществом, которое не способно вступать в химические реакции.

Чем больше протонов и электронов в атоме, тем сложнее становится структура его электронной оболочки. Если первый уровень имеет только один подуровень *1s*, то второй – уже два *(2s и 2p),* и с возрастанием номера уровня число содержащихся в нём подуровней продолжает увеличиваться (рис. 123, Б).

Химические свойства атомов во многом определяются числом электронов, расположенных на внешних уровнях электронной оболочки.

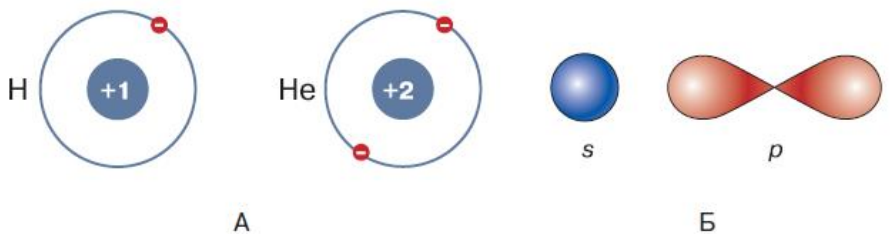


Рис. 123. Строение атома: А – схемы строения электронных оболочек атомов водорода (H) и гелия (He); Б – формы *s*– и *p*-орбиталей (электронных облаков)

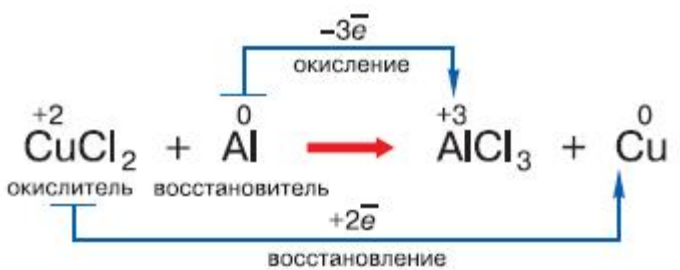


Рис. 124. Процесс обмена электронами при окислительно-восстановительной реакции

Если эти уровни содержат мало электронов, атом, вступая в химическую реакцию, стремится их отдать, если много – присоединить чужие электроны, чтобы заполнить внешнюю оболочку. Если же эта оболочка заполнена, атом становится инертным и в большинстве случаев вообще не участвует в химических реакциях. Элементы, находящиеся в начале каждого периода, содержат на внешней оболочке мало электронов и поэтому легко их отдают, превращаясь при этом в положительно заряженные ионы. Потеря электронов атомом называется

окислением (рис. 124). В конце периодов, непосредственно перед инертными газами, находятся галогены (фтор, хлор, бром, иод), которым для заполнения внешней оболочки не хватает одного электрона. Поэтому они легко присоединяют электроны и становятся при этом отрицательно заряженными ионами. Этот процесс носит название ***восстановления.*** Итак, чем меньше электронов находится на внешней оболочке атома, тем активнее он их отдаёт; чем меньше электронов не хватает для заполнения внешней оболочки атома, тем активнее он их принимает.

Элементы, которые склонны к отдаче электронов, называют металлами, а те, которые способны их принимать, – неметаллами. Атомы многих элементов, например углерода, серы, примерно с равной вероятностью могут и отдавать, и принимать электроны. Чёткой границы между металлами и неметаллами не существует.

Наиболее распространённым и наглядным примером взаимодействия металлов и неметаллов является процесс, который происходит при контакте щелочного металла с галогеном. Металл легко отдаёт свой единственный внешний электрон, а галоген присоединяет его как единственный недостающий. В результате образуется положительно заряженный ион металла **(*катион*)** и отрицательно заряженный ион галогена ***(анион)***[11]. Имея разноимённые заряды, эти ионы притягиваются друг к другу. В результате получаются соли, примером которой является хлорид натрия (поваренная соль). Хлорид натрия состоит из кристаллов, в состав которых входят катионы натрия Na^+ и анионы хлора Cl^- (рис. 125). При растворении хлорида натрия в воде его кристаллы распадаются на ионы. Процесс распада молекул или ионных кристаллов веществ на ионы при растворении в воде называют электролитической диссоциацией.

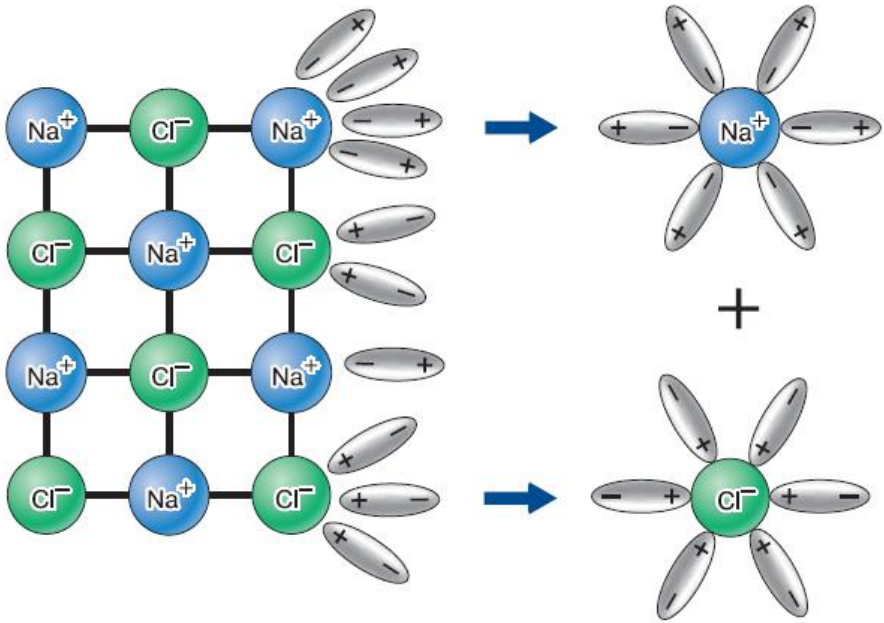


Рис. 125. Схема электролитической диссоциации хлорида натрия

Таким образом, в растворе поваренной соли нет молекул хлорида натрия, а присутствуют только ионы натрия и хлора, окружённые молекулами воды (см. рис. 125). Слово «диссоциация» здесь означает распад, разделение. Вещества, способные к электролитической диссоциации, называют ***электролитами.*** Их растворы проводят электрический ток. Это становится понятным, если учесть, что ток – это перенос заряженных частиц, которыми в данном случае являются катионы и анионы. Электролитической диссоциации при растворении в воде подвергается не только соли, но также кислоты и основания.

Проверьте свои знания

1. В каких случаях при протекании химических реакций атом чаще отдаёт, а в каких – присоединяет электроны?

2. Почему гелий и другие благородные газы почти не способны вступать в химические реакции?

3. Чем определяются реакции окисления и восстановления?

Задания

Опираясь на рисунок 125, опишите, какую роль играет вода в процессе электролитической диссоциации.

§ 49 Валентность. Химическая связь

Валентность.

Внешняя электронная оболочка атома, которая соответственно и определяет его химические свойства, может содержать не более восьми электронов. Исключение составляют только атомы водорода и гелия, на единственной орбитали которых может находиться не более двух электронов. С помощью внешних электронов, которые называют ***валентными,*** осуществляется химическая связь между атомами, и образуются химические соединения. Электронную оболочку, содержащую валентные электроны, называют валентной оболочкой. Слово ***валентность*** (от лат. valentia – сила) означает *способность атома образовывать определённое число химических связей с другими атомами.* Валентность атома определяется числом имеющихся у него валентных электронов.

У атомов элементов каждого нового периода Периодической системы Д. И. Менделеева возникает новая валентная оболочка, которой не было у атомов элементов предыдущего периода. Элементы IIIA группы – щелочные металлы – содержат на этой оболочке всего один электрон. Их атомы легко отдают этот единственный электрон, поэтому все щелочные металлы одновалентны и химически очень активны. По мере увеличения порядкового номера элемента в периоде происходит постепенное заполнение валентной оболочки. Так, элементы IIA группы содержат на внешнем уровне два электрона, IIIA группы – три электрона и т. д. Галогены находятся в VIIA группе, следовательно, их атомы содержат семь валентных электронов. Благородные газы, стоящие в конце периода в VIIIA группе (например, неон, аргон, криптон, ксенон), содержат по восемь валентных электронов. Их внешняя оболочка заполнена, поэтому они почти не обладают химической активностью. После заполнения валентной оболочки (в конце периода) у следующего элемента возникнет новая оболочка.

Химическая связь.

Процесс обмена электронами между атомами и является причиной возникновения химической связи. Один из видов химической связи – ***ионная связь.*** Это связь, возникающая между

ионами в результате действия электростатических сил притяжения (рис. 126). Типичным примером вещества с ионной связью является хлорид натрия. Однако это не единственный вид химической связи. Рассмотрим молекулу, состоящую из одинаковых атомов, например молекулу водорода, имеющую формулу H_2. Каким образом два атома водорода соединяются между собой? Мы знаем, что на единственной 1 *s*-орбитали атома водорода могут находиться два электрона. Однако атом водорода имеет всего один электрон, и для заполнения оболочки ему нужен ещё один. В таком же положении находится и второй атом водорода.

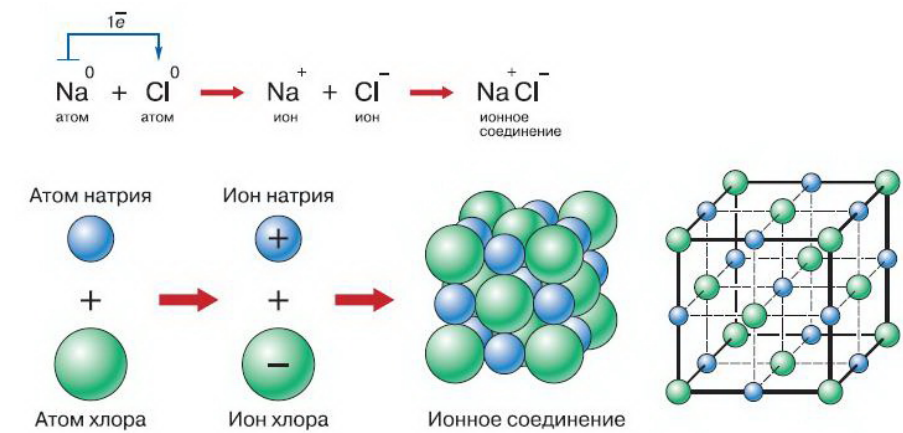


Рис. 126. Образование ионной связи

Поэтому они как бы «договариваются» пользоваться имеющимися в их распоряжении двумя электронами сообща. Теперь в их распоряжении имеется общая орбиталь, заполненная, как ей и полагается, двумя электронами. Такая молекула обладает очень высокой устойчивостью.

Химическую связь, при которой атомы обобществляют свои валентные электроны, называют ***ковалентной*** (рис. 127, 128). В зависимости от количества общих электронных пар ковалентная связь может быть одинарной, двойной, а иногда и тройной. Многие химические вещества построены из молекул, состоящих из атомов двух элементов, одним из которых является атом кислорода. Такие вещества называются оксидами. К оксидам относятся такие хорошо известные вам вещества, как углекислый газ CO_2, вода H_2O и многие другие. При образовании оксидов кислород, у которого для заполнения валентной оболочки не хватает двух электронов, охотно образует две общие электронные пары с атомами других элементов, образуя с ними двойную ковалентную связь. А вот тройные связи встречаются в

химических соединениях гораздо реже и образуются преимущественно между атомами углерод – углерод, углерод – азот и азот – азот.

Многие элементы во всех соединениях проявляют одинаковую валентность. Так, водород и щелочные металлы всегда одновалентны, а кислород всегда двухвалентен. Существуют, однако, элементы с переменной валентностью. Одним из рекордсменов среди таких элементов является хлор, который находится в VIIA группе периодической системы. Хлор способен проявлять валентности от I до VII, и образует многочисленные и самые разнообразные соединения.

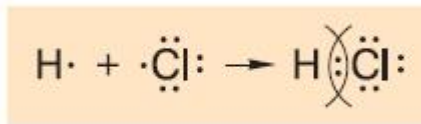


Рис. 127. Ковалентная связь возникает в результате образования общих электронных пар

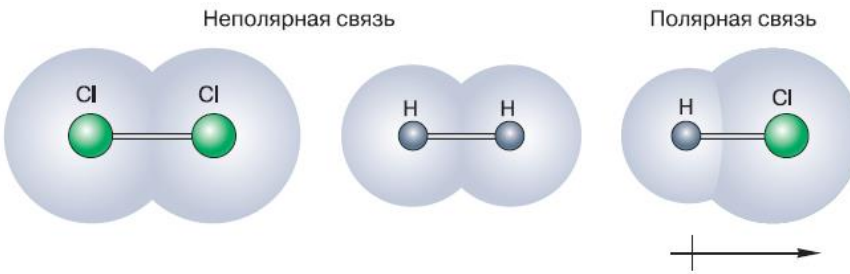


Рис. 128. При взаимодействии двух атомов одного и того же элемента– неметалла образуется неполярная ковалентная связь. При взаимодействии атомов разных элементов-неметаллов образуется полярная связь. При этом электронная пара смещается к элементу с большей электроотрицательностью

Соединяясь, например, с кислородом, он способен образовывать различные оксиды: Cl_2O, ClO_2, Cl_2O_7. Известны и другие элементы, валентность которых в различных реакциях может быть различной. Так, сера может обладать валентностями II, IV и VI, железо может быть двух– и трёхвалентным, углерод – двух– и четырёхвалентным и т. д.

Связь, которую образуют свободные электроны в кристаллической решётке металлов, называют ***металлической.*** В узлах кристаллической решётки металлов расположены их положительно заряженные ионы. А поскольку, как вы знаете,

электроны валентной оболочки металлов не очень прочно удерживаются ядром, они отрываются и беспорядочно, подобно молекулам газа, движутся между ними. Притягивая положительные ионы, эти электроны не дают кристаллу разрушится под действием взаимного отталкивания этих ионов. Вместе с тем электроны не могут покинуть кристалл, поскольку притягиваются положительно заряженными ионами, находящимися в узлах решётки. Из-за того что во всех металлах находится большое количество свободно движущихся электронов, они, как известно, служат хорошими проводниками электрического тока.

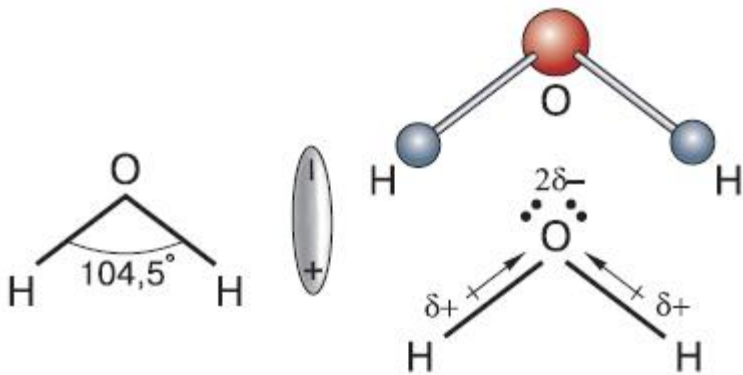


Рис. 129. Молекула воды представляет собой диполь

Существует ещё один вид химической связи, играющий важную роль в биологических процессах. Эту связь называют ***водородной***. Причиной возникновения таких связей является ***полярность*** некоторых молекул. Поясним данное явление на примере молекулы воды (рис. 129). Как вам известно, в этой молекуле атом кислорода удерживает возле себя два атома водорода с помощью ковалентной связи. Но поскольку ядро атома кислорода содержит восемь положительно заряженных протонов, а каждый атом водорода – только один, то под действием электрического притяжения общие электронные пары смещены от атома водорода в сторону кислорода. Из-за этого та часть молекулы, где находится атом кислорода, приобретает небольшой отрицательный заряд, а участки, соответствующие атомам водорода, – положительный. Такая молекула, различающаяся электрическими зарядами на разных своих участках, называется ***полярной молекулой*** или ***диполем.*** Представим себе теперь, что две молекулы воды оказываются рядом. Тогда отрицательный участок одной молекулы будет притягиваться к положительному участку другой, и между ними

возникнет водородная связь. Аналогичная связь может возникать не только в воде, но и во многих других, в том числе и органических, соединениях. Водородные связи являются довольно слабыми, но в том случае, когда их много, они могут достаточно прочно скреплять молекулы различных веществ, что имеет большое значение для многих биологических процессов.

Проверьте свои знания

1. Что такое валентность?

2. Какие электроны называются валентными?

3. Как называют химическую связь, при которой атомы «обобществляют» электроны?

4. Каким образом осуществляется связь в металлических кристаллах?

Задания

Используя рисунок 129, поясните явление полярности и образование водородных связей на примере молекулы воды.

§ 50 Химические реакции

Процессы, при которых происходит разрыв связей между атомами и (или) образование новых связей, называют ***химическими реакциями.*** В отличие от ядерных, во время химических реакций ядра атомов элементов, а значит, и сами элементы остаются неизменными, меняется только их принадлежность к различным молекулам.

Схемы и уравнения реакций.

Химические реакции обычно описывают с помощью уравнений. Химическим уравнением называют условную запись химической реакции посредством химических знаков и формул.

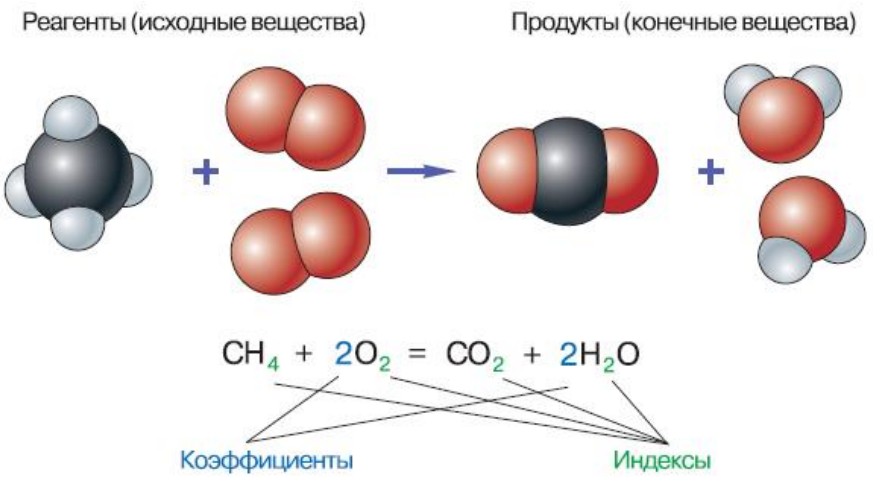


Рис. 130. Уравнение реакции и его изображение с помощью моделей

В левой части уравнения реакции записывают формулы веществ, которые вступают в реакцию (реагентов), а в правой – формулы конечных продуктов реакции (рис. 130).

Рассмотрим реакцию образования воды из кислорода и водорода. Химическая формула газообразного кислорода O_2, а водорода – H_2. Составим схему реакции: $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$. Для того чтобы она превратилась в уравнение, надо расставить *коэффициенты:* $2H_2 + O_2 = 2H_2O$.

Коэффициенты в уравнении реакции показывают, в каком количественном соотношении находятся реагирующие вещества и

продукты. Из полученного нами уравнения следует, что число вступающих в данную реакцию молекул водорода в два раза больше числа молекул кислорода. Смесь водорода и кислорода в соотношении 2: 1 называют гремучим газом, так как достаточно небольшого воздействия, например в виде искры, для того чтобы произошёл взрыв и образовалась вода.

Теперь разберём более сложный случай. Одним из важнейших процессов, обеспечивающих существование жизни на Земле, является осуществляемый растениями фотосинтез. В результате фотосинтеза из воды и углекислого газа образуются глюкоза и кислород. Рассмотрим схему и составим уравнение этой реакции. Формула глюкозы $C_6H_{12}O_6$. Следовательно, схема процесса выглядит так:

$H_2O + CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2$.

Расставив коэффициенты, получаем уравнение реакции:

$6H_2O + 6CO_2 = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.

По химическим уравнениям производят различные количественные расчёты в производственной и лабораторной практике. Например, попробуем определить, сколько граммов воды и углекислого газа потребуется для синтеза 1 г глюкозы. Для этого вспомним понятие моля. *Моль* – это такое количество вещества, масса которого, выраженная в граммах, численно равна его атомной или молекулярной массе. Молекулярная масса глюкозы равна сумме атомных масс входящих в её молекулу элементов, т. е. $6\,12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180$. Следовательно, масса одного моля глюкозы составляет 180 г. То же самое относится к воде, масса одного моля которой равна 18 г, и к углекислому газу, масса моля которого составляет 44 г. Значит, для получения 180 г глюкозы потребуется 108 г воды и 264 г углекислого газа. Итого 372 г. Но всем известно, что материя не исчезает. Куда же делись остальные 192 г? Очевидно, что это масса выделившегося кислорода. Проверим. В реакции образовалось 6 моль O_2, каждый из которых имеет массу 32 г. Итого ровно 192 г. Как видите, закон сохранения массы и в этом случае оказался справедлив. Если вы хотите теперь узнать, сколько воды и углекислого газа потребуется для образования 1 г глюкозы и сколько при этом выделится кислорода, разделите все полученные числа на 180.

Типы химических реакций.

Существует огромное многообразие химических реакций. Простейшие из них можно условно разделить на четыре группы:

реакции соединения, разложения, замещения и обмена.

В ***реакциях соединения*** из нескольких исходных веществ образуется одно сложное вещество. Примером такого вида реакций может служить процесс образования зелёного налёта малахита $(CuOH)_2CO_3$ на поверхности бронзовых изделий (рис. 131):

$2Cu + O_2 + H_2O + CO_2 = (CuOH)_2CO_3$.

Реакции разложения приводят к распаду молекул одного исходного сложного вещества на несколько продуктов. Такие реакции чаще протекают при нагревании. Некоторые вещества разлагаются под действием света. Так, соединения серебра на свету чернеют вследствие выделения серебра. На этом процессе основана чёрно-белая фотография.

Реакции замещения – это реакции между простым и сложным веществами, в результате которых образуются два новых вещества (простое и сложное).

Реакции обмена – это реакции взаимодействия между двумя сложными веществами, при котором они обмениваются атомами или группами атомов.

Рис. 131. Примером реакции соединения является процесс образования зелёного налёта малахита на поверхности бронзовых изделий

Проверьте свои знания

1. Какую информацию можно получить на основе уравнения химической реакции?

2. Какие вещества образуются в результате фотосинтеза?

3. Почему в химии применяют физическую величину «количество вещества»? В каких единицах она измеряется?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. При реакции газообразного водорода H_2 с газообразным хлором Cl_2 образуется хлороводород HCl. Найдите в периодической системе атомную массу хлора и определите, какое количество водорода и хлора надо использовать для того, чтобы получить 10 г хлороводорода.

§ 51 Скорость и энергия химических реакций

Скорость и энергия химических реакций

Скоростью химической реакции называется изменение концентрации одного из реагирующих веществ за единицу времени. Для того чтобы произошла химическая реакция, атомы или молекулы реагирующих веществ должны прийти в соприкосновение или, попросту говоря, столкнуться. Это необходимое условие для возникновения реакции, но оно не является достаточным. Взаимодействующие частицы должны обладать определённым сродством друг к другу. Это сродство зависит от строения и энергии атомов и молекул, и чем оно больше, тем выше вероятность того, что они образуют соединение. Очевидно, что чем больше частиц содержится в данном объёме реакционной среды, тем чаще они будут сталкиваться. Поэтому *скорость реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ.* Это правило называют ***законом действующих масс***. Он был сформулирован норвежскими химиками К. Гульдбергом и П. Вааге в 1867 г. Закон действующих масс выражают в виде формулы:

$V = k\,[A]^{a} \cdot [B]^{b}$,

где *[A]* и *[B]* – концентрации реагирующих веществ, a и b – их стехиометрические коэффициенты. Величина k называется ***константой скорости реакции*** и зависит от степени сродства реагирующих веществ и внешних факторов, влияющих на скорость химической реакции, например температуры.

Факторы, влияющие на скорость химической реакции.

При повышении температуры скорость движения молекул увеличивается и, следовательно, увеличивается не только вероятность, но и, что гораздо важнее, энергия их соударения. Согласно ***правилу Вант-Гоффа****, при повышении температуры на каждые* 10 °C *скорость реакции возрастает в* 2–4 *раза.* Отношение константы скорости реакции, протекающей при определённой температуре, к константе скорости при температуре в 10 раз меньшей называют ***температурным коэффициентом*** химической реакции.

Если один из компонентов реакции находится в твёрдом состоянии, а другой – в жидком или газообразном, то на скорость реакции влияет также величина поверхности, которой они соприкасаются между собой. Например, растворение металла в кислоте будет происходить тем быстрее, чем больше степень его измельчения. Если опустить в кислоту большой кусок металла, он может реагировать с ней очень долго, а если то же количество металла растереть в порошок, реакция пройдёт практически мгновенно (рис. 132).

Очень важным фактором протекания химической реакции является энергетическая составляющая. Энергию, необходимую для начала реакции, называют ***энергией активации.*** Чем меньше энергия активации, тем быстрее протекает реакция. Например, при образовании ионной связи между катионами и анионами энергия активации очень мала, поэтому такие реакции протекают почти мгновенно.

Катализаторы.

Многие химические реакции можно ускорить или замедлить введением в реакционную среду некоторых дополнительных веществ. Эти вещества не участвуют в реакции и не расходуются в ходе её протекания, но оказывают влияние на её скорость. Вещества, ускоряющие реакцию, называют ***катализаторами,*** а вещества, оказывающие противоположное действие, – ***ингибиторами.*** Процесс ускорения реакций под действием катализатора называют ***катализом***. Катализаторы чаще всего действуют следующим образом. На их поверхности имеются особые участки – активные центры. К этим участкам присоединяются и накапливаются молекулы реагентов. Такое явление называют адсорбцией.

Рис. 132. Зависимость скорости реакции от площади соприкосновения реагирующих веществ

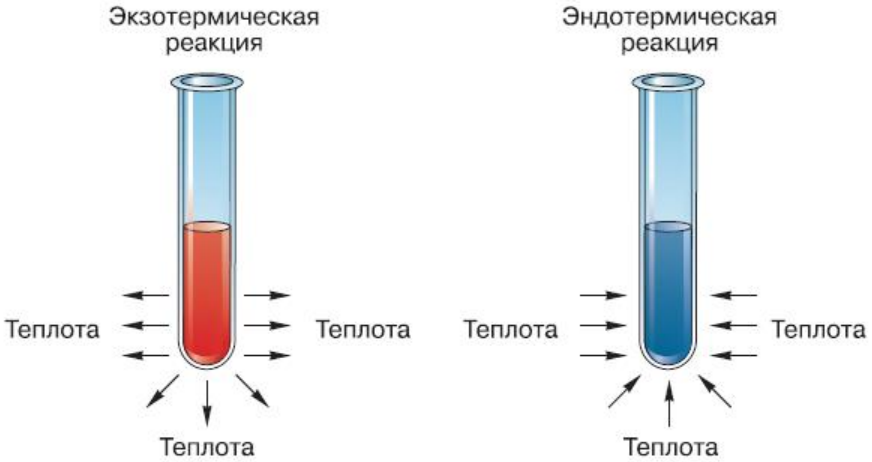


Рис. 133. Схематическое изображение экзотермической и эндотермической реакций

В результате в районе активных центров концентрация взаимодействующих молекул становится очень большой, и это ведёт к ускорению реакции. Кроме того, под действием катализатора у адсорбированных молекул ослабляются связи между атомами.

Экзо– и эндотермические реакции.

Как правило, сумма энергий исходных реагентов не бывает равной сумме энергий конечных продуктов реакции. Образующиеся в результате химической реакции вещества обладают либо меньшей, либо большей энергией по сравнению с исходными веществами. В первом случае реакция сопровождается выделением лишней энергии в виде кинетической энергии молекул, т. е. тепла. Такие реакции называют ***экзотермическими*** (от лат. exo – наружу и thermo – тепловой) (рис. 133). Так, экзотермической реакцией является любое горение (рис. 134).

Рис.134. Горение как пример экзотермической реакции

Если подобные реакции протекают очень быстро, то за короткое время выделяется большое количество тепла, что часто сопровождается взрывом. Примером такой реакции служит сгорание пороха.

Однако для начала даже экзотермических реакций необходима энергия активации. Иногда эта энергия чрезвычайно мала, и реакция (например, взрыв) может произойти в результате случайных причин. Но в некоторых случаях, для того чтобы запустить реакцию, т. е., как говорят, преодолеть энергетический барьер, требуется некоторая энергия, поступающая извне. Порох сам по себе не взорвётся. Для взрыва требуется энергия в виде искры, которая вызовет реакцию в небольшом количестве молекул, а освободившаяся в результате этой реакции энергия запустит аналогичный процесс в соседних участках. Далее реакция сгорания будет распространяться с огромной скоростью. Такой самоусиливающийся процесс называют ***цепной реакцией***. Точно так же обстоит дело со смесью водорода и кислорода – гремучим газом. Стоит в гремучий газ попасть небольшой искре или поднести к нему что-то горящее, как начнётся цепная реакция соединения кислорода с водородом, которая будет сопровождаться выделением большого количества энергии, т. е. взрывом[12].

Химические реакции, при которых энергия конечных продуктов оказывается выше энергии исходных веществ, требуют

постоянного притока этой энергии извне. Такие реакции называют ***эндотермическими,*** они сопровождаются поглощением тепла (см. рис. 133). Самым наглядным примером эндотермической реакции служит приготовление пищи. Для того чтобы сырые продукты превратились в варёные или жареные, в них должно произойти много различных реакций, большинство из которых требуют постоянного поступления теплоты из внешней среды. Поэтому эти продукты приходится в течение какого-то, иногда довольно длительного, времени держать в кастрюле с кипящей водой, на сковороде или в духовке.

Выделение и поглощение энергии в химических реакциях играют огромную роль в процессах, обеспечивающих существование и жизнедеятельность всех живых организмов, в том числе и человека, о чём будет подробно рассказано в дальнейших главах этого учебника.

Проверьте свои знания

1. Сформулируйте закон действующих масс.

2. Что такое температурный коэффициент скорости реакции?

3. Какую роль выполняют катализаторы и ингибиторы химических реакций?

4. Что такое экзотермические и эндотермические реакции?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Объясните, почему стирка одежды или мытьё посуды в горячей воде обычно гораздо эффективнее, чем в холодной.

§ 52 Строение и свойства неорганических веществ. Кислоты и основания

Вещества органические и неорганические.

Все существующие в природе химические вещества можно разделить на органические и неорганические. Все органические вещества являются сложными, т. е. состоят из атомов более чем одного элемента, и одним из этих элементов обязательно является углерод. Неорганические вещества могут быть как простыми, так и сложными. При этом они за некоторыми исключениями не содержат в своём составе углерода. Такими исключениями являются углекислый газ (CO_2), угарный газ (CO), угольная кислота (H_2CO_3) и её производные, карбиды, представляющие собой соединения углерода с некоторыми другими элементами, и ещё небольшое количество веществ. Эти вещества, хотя и содержат в своём составе углерод, органическими не являются.

Простые неорганические вещества.

Простые неорганические вещества делят на металлы и неметаллы. Металлы обладают сходными физическими свойствами – металлическим блеском, способностью проводить теплоту и электрический ток. Типичные металлы пластичны, их можно подвергать ковке и прокатке, вытягивать из них тонкую проволоку. ***Металлами*** являются, например, литий (Li), натрий (Na), калий (K), кальций (Ca), магний (Mg), цинк (Zn), алюминий (Al), железо (Fe), марганец (Mn). Неметаллы, как правило, не проводят или плохо проводят электрический ток, в твёрдом состоянии являются хрупкими веществами. Многие простые вещества-неметаллы в обычных условиях газообразны. ***Неметаллами*** являются, например, хлор (Cl_2), фтор (F_2), кислород (O_2), сера (S), фосфор (P). Чёткой границы между металлами и неметаллами нет. Так, некоторые неметаллы (графит, иод) обладают блеском и способностью проводить электрический ток, хотя их электропроводность всё равно в десятки тысяч раз ниже, чем у металлов. Среди неметаллов выделяют особое семейство – ***благородные газы:*** гелий (He), неон (Ne), аргон (Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe), радон (Rn). Валентная

электронная оболочка их атомов полностью заполнена, поэтому эти вещества почти не обладают химической активностью. Благодаря этой особенности благородные газы используют для создания инертной атмосферы. Например, гелий используют для наполнения летательных аппаратов и детских воздушных шариков, с помощью аргона и криптона создают защитную атмосферу в лампах накаливания и т. д.

Сложные неорганические вещества: кислоты и основания.

Среди сложных неорганических веществ большой интерес представляют ***кислоты и основания (щёлочи).*** В состав кислот входят атомы водорода, способные в ходе электролитической диссоциации отщепляться в виде ионов H^+ от остальной части молекулы. Наиболее известными кислотами являются серная (H_2SO_4), азотная (HNO_3), фосфорная (H_3PO_4), угольная (H_2CO_3), соляная (HCl). При электролитической диссоциации кислот образуются положительно заряженные ионы водорода H^+ (катионы) и отрицательно заряженные анионы (HSO^-_4 или SO^{2-}_4, H_2PO_4, Cl^- и т. д.), которые называют кислотными остатками. Таким образом, в растворах, содержащих кислоты, всегда присутствует большое количество ионов водорода. Чем больше концентрация ионов водорода в растворе, тем большей ***кислотностью*** он обладает.

При электролитической диссоциации оснований в качестве аниона образуется отрицательно заряженный ион OH^-, который называют гидроксилом или гидроксид-ионом. К основаниям относятся гидроксиды натрия (NaOH), калия (KOH), кальция ($Ca(OH)_2$) и др. Растворимые в воде основания называют щелочами.

Одновременно слабой кислотой и слабым основанием является вода. В обычных условиях вода очень слабо диссоциирует с образованием ионов H^+ и OH^-. Содержание ионов в ней мало, поэтому вода плохо проводит электрический ток. В 1 л чистой воды при комнатной температуре содержится 10^{-7} моль, т. е. $6{,}02\ 10^{16}$ катионов водорода и такое же количество гидроксид-ионов. Среду, в которой концентрации ионов H^+ и OH^- равны, называют *нейтральной.* Если концентрация ионов водорода $[H^+]$ в растворе превышает концентрацию гидроксид–ионов $[OH^-]$, то раствор имеет *кислотную среду,* а если больше гидроксид-ионов $[OH^-]$ – *щелочную.*

Степень кислотности или щёлочности раствора характеризуют так называемым водородным показателем – **pH.**

Он представляет собой взятый с обратным знаком показатель степени концентрации ионов водорода в растворе, выраженный в моль/л.

В нейтральной среде $[H^+] = [OH^-]$, pH = 7,0 (чистая вода).

В кислотной среде $[H^+] > [OH^-]$, pH < 7,0.

В щелочной среде $[H^+] < [OH^-]$, pH > 7,0.

В желудочном соке человека содержится соляная кислота, которая диссоциирована на ионы H^+ и Cl^-. Концентрация ионов водорода в желудочном соке равна 0,01 или 10^{-2} моль/л. Это значительно больше, чем их концентрация в воде. Поэтому желудочный сок является очень кислым, а его pH ≈ 2,0.

В щелочных растворах концентрация ионов водорода снижена и соответственно повышено содержание ионов OH^-. Например, кровь человека обладает слабой щелочной реакцией (pH ≈ 7,3–7,5). Большинство употребляемых в пищу продуктов и напитков имеют слабокислую реакцию. Так, pH яблочного сока около 3, кофе – примерно 5, чая – около 6, а молока – чуть меньше 7. Щелочной реакцией обладает раствор питьевой соды, растворы мыла и стиральных порошков.

Некоторые вещества способны менять свой цвет в зависимости от кислотности среды. В химии такие вещества используют в качестве индикаторов, с помощью которых можно различить кислые, щелочные и нейтральные растворы. Примерами индикаторов являются фенолфталеин и лакмус. Однако увидеть подобную реакцию можно при помощи обычных продуктов. Возьмите немного вишнёвого, клюквенного или другого красного сока и капните в него немного раствора пищевой соды. Сок немедленно изменит цвет на синий или фиолетовый. Это происходит потому, что при добавлении соды создаётся щелочная реакция, и содержащийся в соке пигмент теряет красную окраску, которой он обладал в кислой среде.

Не все кислоты и основания в равной степени способны к диссоциации. Те из них, значительная часть молекул которых распадаются при растворении в воде на ионы, называют сильными кислотами или сильными основаниями соответственно. Те, в которых диссоциирует лишь небольшая часть молекул, называют слабыми кислотами или слабыми основаниями. Так, соляная, серная и азотная кислоты – сильные, а угольная кислота – слабая.

Гидроксиды натрия и калия являются сильными основаниями, а нашатырный спирт (раствор аммиака в воде) – слабым основанием. Сильные кислоты и щёлочи обладают очень высокой химической активностью, способны растворять и разрушать многие материалы, а их соприкосновение с кожей или

со слизистыми оболочками могут вызвать ожоги (рис. 136).

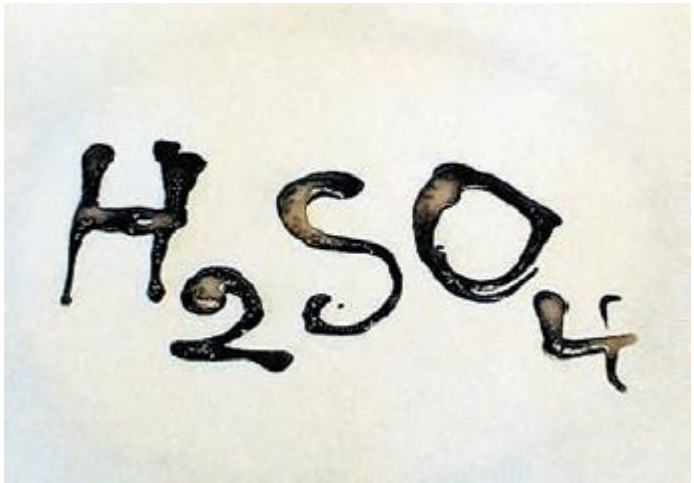


Рис.135. Обугливание бумаги. концентрированной серной кислотой

Проверьте свои знания

1. На какие ионы диссоциируют кислоты и основания при растворении в воде?

2. Как изменяется значение pH в зависимости от степени кислотности или щёлочности растворов? Чему равен pH чистой воды?

3. Какие из пищевых или бытовых веществ имеют кислую, а какие – щелочную реакцию?

4. Чем различаются сильные и слабые кислоты и основания?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Проверьте опытным путём, как изменяется окраска вишнёвого или черничного сока при добавлении к ним слабых растворов уксуса и питьевой соды. Сделайте вывод.

§ 53 Соли и их применение

Соли.

Кислоты обладают способностью взаимодействовать с металлами. В ходе этих реакций катион H^+ в молекуле кислоты замещается на катион металла. В результате образуются соединения, называемые ***солями.*** Если в молекуле кислоты находится не один, а два или три атома водорода, способных отщепляться в виде ионов H^+ в ходе электролитической диссоциации, то такая кислота называется двух– или трёхосновной. В её молекуле может замещаться металлом один, два или все три водородных атома. В качестве примера рассмотрим угольную кислоту. Она имеет формулу H_2CO_3 и является двухосновной. Если только один из атомов водорода заменить на катион натрия, то получится соединение $NaHCO_3$ – гидрокарбонат натрия, или пищевая сода. Если же на катион натрия замещаются оба атома водорода, то получается карбонат натрия (Na_2CO_3), или техническая сода, непригодная для употребления в пищу. Соли образуются также в результате реакции нейтрализации – взаимодействия кислот с основаниями. Так, при взаимодействии соляной кислоты HCI и гидроксида натрия NaOH образуется хлорид натрия (NaCl). В любом случае в состав солей входят катионы металла и анионы кислотных остатков. При обычных условиях соли являются кристаллическими веществами. Многие соли, такие как хлорид калия (KCl) или хлорид натрия (NaCl), хорошо растворяются в воде. Растворимость других солей, например хлорида серебра (AgCl), в воде очень мала – в 1 л воды может раствориться менее 1 мг вещества. В кристаллах солей катионы металлов и анионы кислотных остатков связаны между собой ионной связью. Поэтому при растворении в воде соли диссоциируют на ионы (см. § 48). В результате в растворах солей нет их молекул, а присутствуют только положительно и отрицательно заряженные ионы, окружённые молекулами воды (см. рис. 125). Поскольку ионы заряжены и могут свободно перемещаться в электрическом поле, то растворы солей хорошо проводят электрический ток. Растворы солей называют проводниками второго рода. В отличие от проводников первого рода (например, металлов), где переносчиками электричества являются электроны, в растворах солей происходит перенос ионов, т. е. частиц вещества.

Электролиз.

Если в раствор соли погрузить два разноимённо заряженных электрода, соединённых с источником тока, то отрицательно заряженные анионы будут двигаться к аноду, а положительно заряженные катионы металлов – к катоду. Затем на электродах начинают протекать окислительно-восстановительные процессы. Например, на катоде катионы металла могут принимать электроны, в результате чего будет происходить выделение металла в свободном виде. На аноде анионы, например, Cl^- отдают электроны, и выделяется газообразный хлор Cl_2. Такой процесс, протекающий при прохождении через растворы солей электрического тока, называется ***электролизом*** и широко используется в науке и технике.

Происходящие при электролизе процессы зависят от природы растворённой соли. Если проводится электролиз солей активных металлов, например натрия или калия, то на катоде выделяется газообразный водород. Для того чтобы получить эти металлы электролизом, нужно использовать не растворы, а расплавы их солей. На аноде при электролизе солей могут выделяться галогены или кислород. Впервые для химических исследований электролиз применил английский исследователь **Гемфри Деви** (1778–1829). С помощью электролиза он смог впервые получить в чистом виде такие элементы, как калий, натрий, кальций, стронций, барий и магний, а также предсказал существование алюминия.

Электролиз растворов солей используют в электрохимии для получения слоя металла на поверхности какого-либо предмета (серебрение, золочение, хромирование). Эту технологию называют ***гальванопластикой*** (рис. 136). С помощью гальванопластики можно получить точные металлические копии предметов. Если после электролиза снять с формы отложенный на ней слой металла, он будет повторять её очертания.

Применение солей.

Соли широко используют в различных областях промышленности и хозяйства (рис. 137). Многие из них незаменимы в качестве минеральных удобрений: соли азотной кислоты (селитры), соли фосфорной кислоты (фосфатные удобрения).

Рис. 136. Чайнокофейный сервиз мануфактуры Кристофля (1875) – одно из первых применений гальванопластического серебрения и золочения

В строительстве и медицине широко используют гипс – сульфат кальция, главным достоинством которого является способность быстро застывать после смешивания с водой, образуя прочное соединение. Другие соли серной кислоты, например железный и медный купоросы, находят своё применение в производстве красителей, фунгицидов, в медицине и строительстве. Главной составной частью известняка, мела и мрамора является соль угольной кислоты и кальция – карбонат кальция ($CaCO_3$). Очищенный от посторонних примесей, карбонат кальция широко используется в строительстве, в бумажной и пищевой промышленности, при производстве красок, пластмасс, продукции бытовой химии.

Проверьте свои знания

1. Какие вещества относят к солям?
2. Что происходит в процессе электролиза?
3. Расскажите, где в быту используют карбонат кальция.

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Приведите примеры солей, использующихся в промышленности и сельском хозяйстве.

3. Вспомните из курса географии, к какому типу пород относится известняк.

А

Б

В

Г

Д

Е

Ж

Рис. 137. Многообразие солей (А: синяя – медный купорос, красная – дихромат калия, жёлтая – жёлтая кровяная соль, тёмно-фиолетовая – перманганат калия, белая – хлорид натрия, зелёная – нитрат никеля (II)) и их применение (Б – Ж)

§ 54 Строение и свойства органических веществ

Органическими веществами (за тем небольшим исключением, о котором говорилось выше) являются химические соединения, содержащие в своей молекуле углерод. Кроме него, в состав органических соединений почти всегда входит водород, часто кислород, азот, сера и фосфор, а иногда и многие другие элементы, включая различные металлы. Органические вещества входят в состав всех живых организмов и постоянно в них образуются. Раньше считали, что образование этих соединений вообще невозможно без участия живых организмов, отсюда и произошло их название. Действительно, в неживой природе эти вещества образуются редко и в небольших количествах, поэтому их либо извлекают из организмов, либо получают путём сложного химического синтеза.

Для того чтобы правильно представлять себе формулы органических соединений, следует иметь в виду, что атом углерода в них всегда четырёхвалентен, водород – одновалентен, кислород имеет валентность два, азот – три, а фосфор – пять. Впервые теорию строения органических веществ предложил в 1861 г. российский химик **Александр Михайлович Бутлеров** (1828–1886). В то время ещё ничего не было известно о строении атома и электронных оболочках, но на основании экспериментальных данных немецким химиком **Фридрихом Кекуле** (1829–1896) была высказана мысль о том, что атом каждого элемента обладает некоторым числом «единиц сродства» с другими атомами. Ф. Кекуле удалось установить валентности серы, углерода и водорода.

Построение структурных формул. Углеводороды.

На основе этих идей А. М. Бутлеров разработал принципы построения графических формул химических веществ. Для этого требуется знать валентность каждого элемента, которую изображают на рисунке в виде соответствующего числа чёрточек. Пользуясь этим правилом, легко установить, возможно или невозможно существование вещества с определённой формулой. Так, существует соединение, называемое *метаном* и имеющее формулу CH_4. Соединение с формулой CH_5 невозможно, так как для пятого водорода у углерода уже не найдётся свободной

валентности.

Рассмотрим сначала принципы строения наиболее просто устроенных органических соединений. Их называют ***углеводородами,*** так как в их состав входят только атомы углерода и водорода (рис. 138). Самым простым из них является упомянутый метан, в котором есть всего один атом углерода. Прибавим к нему ещё один такой же атом и посмотрим, как будет выглядеть молекула вещества, называемого *этаном.* У каждого атома углерода одна валентность занята его собратом – другим углеродным атомом. Теперь надо заполнить водородом оставшиеся валентности. У каждого атома осталась по три свободных валентных связи, к которым и присоединим по одному атому водорода. Получилось вещество, имеющее формулу C_2H_6. Прибавим к нему ещё один атом углерода.

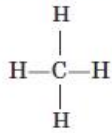
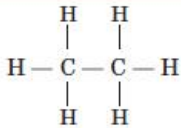
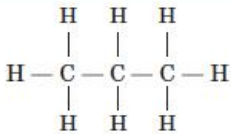
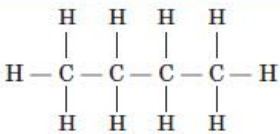
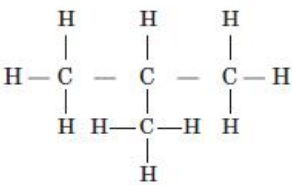
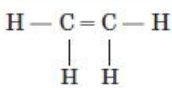
Полная структурная формула вещества		Сокращённая структурная формула вещества
	Метан	CH_4
	Этан	CH_3-CH_3
	Пропан	$CH_3-CH_2-CH_3$
	Бутан	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$
	Изобутан	$CH_3-CH(CH_3)-CH_3$
	Этилен	$CH_2=CH_2$

Рис. 138. Полные и сокращённые структурные формулы органических соединений

Теперь мы видим, что у среднего атома осталось только две свободных валентности. К ним мы присоединим по атому водорода. А к крайним углеродным атомам добавим, как и прежде, по три атома водорода. Получим *пропан* – соединение с формулой C_3H_8. Такую цепочку можно продолжать, получая всё новые и новые углеводороды.

Но углеродные атомы необязательно должны располагаться в молекуле в линейном порядке. Допустим, что мы хотим добавить к пропану ещё один углеродный атом. Оказывается, это можно сделать двумя способами: присоединить его либо к крайнему, либо к среднему атому углерода пропана. В первом случае мы

получим *бутан* с формулой C_4H_{10}. Во втором случае общая, так называемая ***эмпирическая, формула*** будет такой же, но изображение на рисунке, называемое ***структурной формулой,*** будет выглядеть иначе. И название вещества будет несколько иное: не бутан, а *изобутан.*

Вещества, имеющие одну и ту же эмпирическую, но разные структурные формулы, называют ***изомерами****, а способность вещества существовать в виде различных изомеров –* ***изомерией****.* Мы, например, употребляем в пищу различные вещества, имеющие одну и ту же формулу C_6 $H_{12}O_6$, но структурные формулы они имеют различные и носят разные названия: глюкоза, фруктоза или галактоза.

Углеводороды, которые мы рассмотрели, называют предельными. В них все атомы углерода связаны между собой одинарной связью. Но так как атом углерода четырёхвалентен и имеет четыре валентных электрона, то теоретически он может образовывать двойные, тройные и даже четверные связи. Четверные связи между атомами углерода в природе не существуют, тройные встречаются редко, а вот двойные присутствуют во многих органических веществах, в том числе и в углеводородах. Соединения, в которых имеются двойные или тройные связи между атомами углерода, называют ***непредельными*** или ***ненасыщенными углеводородами.*** Возьмём снова молекулу углеводорода, содержащую два атома углерода, но соединим их с помощью двойной связи (см. рис. 138). Мы видим, что теперь у каждого атома углерода осталось по две свободных связи, к каждой из которых он может присоединить по одному атому водорода. Получаемое соединение имеет формулу C_2H_4 и называется *этиленом.* Этилен, в отличие от этана, имеет меньше атомов водорода при том же числе углеродных атомов. Поэтому углеводороды, имеющие двойную связь, и называют ненасыщенными в том смысле, что они не насыщены водородом.

Если углеводород потеряет один атом водорода, у него образуется свободная валентная связь, с помощью которой он может присоединиться к какой-нибудь другой молекуле. Такие остатки углеводородов называют алкилами. Их названия происходят от имени образовавшего их углеводорода с заменой суффикса *– ан* на *– ил* (метил, этил, пропил, бутил и т. д.).

Зная принципы строения углеводородов, можно легко понять общие закономерности строения других органических веществ.

Углеводы.

Углеводы состоят из атомов углерода, водорода и кислорода. При этом число атомов кислорода в их молекулах практически всегда равно числу атомов углерода, а число атомов водорода – вдвое больше. Таким образом, на один атом углерода приходится как бы одна молекула воды. Отсюда и произошло их название. Углеводы в большом количестве встречаются во всех живых организмах и носят также название сахаров. Простые сахара содержат пять или шесть углеродных атомов и соответственно называются пентозами или гексозами (от греч. pente – пять и hex – шесть). Формулы таких углеводов записывают как $C_5H_{10}O_5$ и $C_6H_{12}O_6$ или $C_5(H_2O)_5$ и $C_6(H_2O)_6$. Существуют также сложные углеводы, о чём будет подробно рассказано в дальнейшем.

Спирты

Спирты содержат в составе своей молекулы гидроксильную группу (OH^-). Наиболее известен этиловый спирт, который входит в состав алкогольных напитков. Он состоит из алкила этила и присоединённой к нему группы OH^-, т. е. имеет формулу $CH_3—CH_2—OH$. Присоединяя гидроксильную группу к остаткам различных углеводородов можно получать различные спирты: метиловый, пропиловый и др. Все они гораздо более токсичны, чем этиловый спирт, хотя и он тоже не безвреден. Спирты можно рассматривать как производные воды, в которых один из атомов водорода замещён на какой-либо алкил.

Если в молекуле спирта содержится одна гидроксильная группа, его называют одноатомным. Однако в состав некоторых спиртов может входить две, три и более OH^--групп. Такие спирты называют многоатомными. Наибольшее значение для жизнедеятельности организмов имеет трёхатомный спирт глицерин, входящий в состав жиров.

Органические кислоты

В состав молекул органических кислот входит *карбоксильная* группа (– $COOH^-$). Кислотами их называют потому, что в процессе электролитической диссоциации от их молекул отщепляется ион водорода.

Как правило, органические кислоты являются слабыми кислотами, т. е. плохо диссоциируют в воде. В общем виде формула органической кислоты выглядит как R – COOH, где R – радикал (некая органическая группа со свободной валентной

связью). Таким радикалом может быть метил (уксусная кислота), более длинные углеводородные алкилы или сложные органические соединения. В одной из кислот, носящей название муравьиной, вместо органического радикала к карбоксильной группе присоединён атом водорода. Таким образом, её формула – HCOOH (рис. 139).

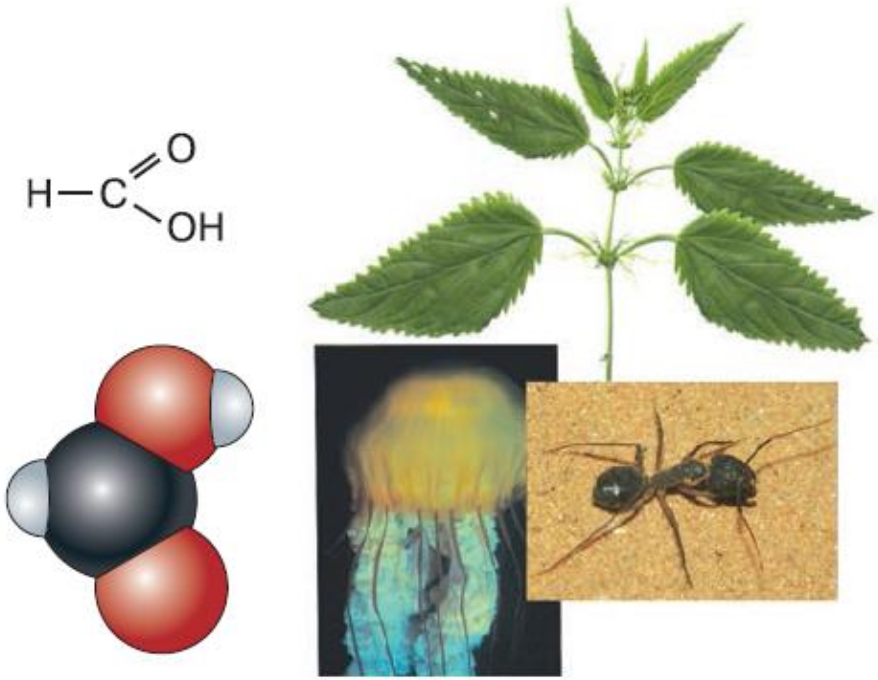


Рис. 139. Муравьиная кислота

Среди органических кислот особую роль играют ***аминокислоты,*** из которых строятся белки – основа существования всех живых организмов. Аминокислоты имеют в составе своей молекулы помимо карбоксильной ещё и аминогруппу (—NH_2). Чуть позже мы рассмотрим, как образуются белковые молекулы.

Проверьте свои знания

1. Как называются соединения, в состав которых входит только углерод и водород?

2. Что такое алкилы?

3. Какая группа входит в состав органических кислот?

4. Какие соединения называют изомерами?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Эмпирическая формула соединения – C_2H_4O. Изобразите структурные формулы возможных изомеров этого соединения.

3. Исходя из валентности атомов тех или иных элементов, выясните, могут ли в природе существовать вещества с сокращённой структурной формулой CH_5; C_2H_7; C_3H_6; C_4H_6; C_4H_{11}. Если нет, свой ответ обоснуйте. Если да, изобразите полные структурные формулы этих веществ.

§ 55 Циклические органические соединения

Среди органических соединений многие являются ***циклическими.*** Впервые об их существовании узнали, когда в 1865 г. Ф. Кекуле определил строение молекулы *бензола* (рис. 140, А, Б).

В то время было известно, что бензол является углеводородом с эмпирической формулой $C_6И_6$. Попробуйте построить структурную формулу этого вещества, выстраивая в ряд атомы водорода или разветвляя образованную ими цепочку. Вы убедитесь, что это возможно только в том случае, если предположить, что молекула содержит в некоторых участках тройные связи между атомами углерода. Но химические эксперименты такую возможность отвергали. Кекуле долго раздумывал над этой проблемой и пришёл к выводу, что молекула бензола имеет циклическое строение с чередованием двойных и одинарных связей.

По поводу этого открытия ходит много легенд. Говорят, что учёный представил себе змею с нанизанными на неё атомами углерода, а потом увидел во сне, как эта змея схватила себя за хвост. Другие рассказывают, что идея о циклическом строении бензола пришла Кекуле в зоопарке, где он увидел сцепившихся обезьян.

Впоследствии выяснилось, что одинарные и двойные связи в молекуле бензола нельзя считать строго чередующимися, так как невозможно установить, в каком именно месте находится одинарная, а в каком – двойная связь. Поэтому сейчас молекулу бензола обычно изображают в виде шестиугольника с кольцом внутри.

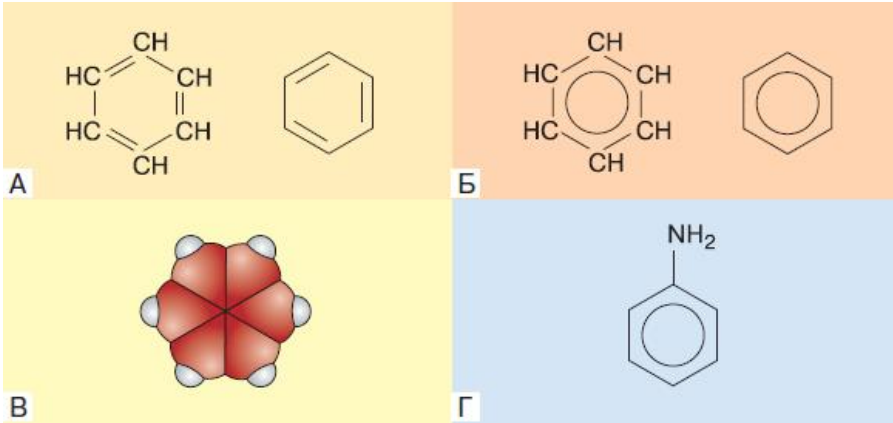


Рис. 140. Циклические органические соединения – бензол и анилин:

А, Б – структурные формулы бензола; В – масштабная модель молекулы бензола; Г – структурная формула молекулы анилина

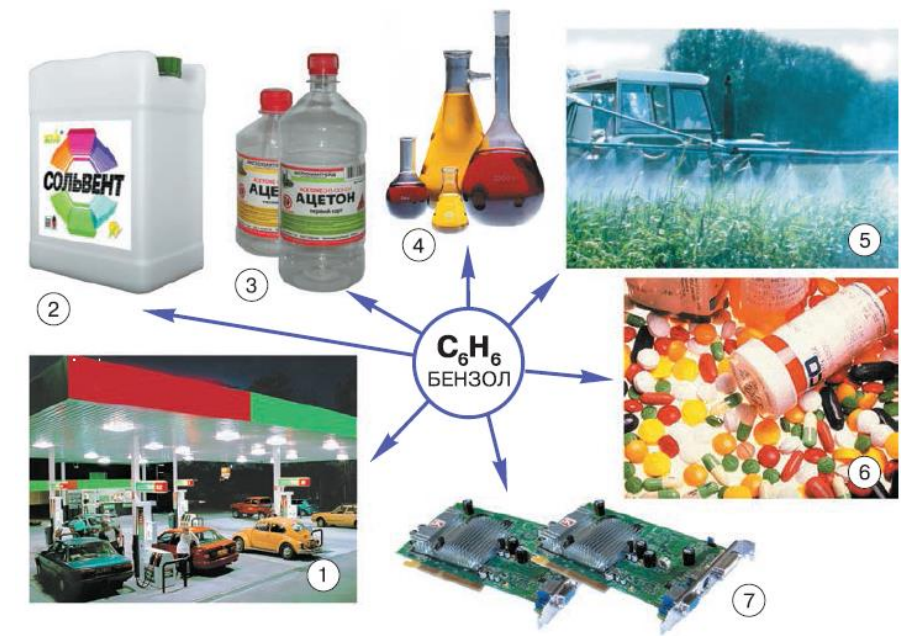


Рис. 141. Применение бензола: 1 – добавка к бензину; 2 – производство растворителей; 3–7 – производство органических соединений (ацетона (3), анилина (4), пестицидов (5), лекарственных средств (6), фенолформальдегидных пластмасс (7))

Широкое применение бензола представлено на рисунке 141.

Утратив один атом водорода, бензол становится обладателем свободной валентной связи и превращается в радикал *фенил*.

Вводя в его молекулу боковые группы различного строения, можно создать множество соединений, большинство из которых находит широкое практическое применение. Приведём в качестве примеров несколько таких производных. *Фенол* (устаревшее название – карболовая кислота) представляет собой вещество, образованное заменой одного атома водорода в молекуле бензола на гидроксильную группу. Это соединение служит сырьём для производства эпоксидных и формальдегидных смол, искусственных волокон – нейлона и капрона, антисептиков и аспирина. Фенол обладает слабыми бактерицидными свойствами, поэтому до открытия более эффективных препаратов его использовали в медицинских учреждениях в качестве антисептического средства. Присутствием фенола в дыме объясняется консервирующий эффект копчения продуктов. В то же время фенол опасен для человека из-за своей высокой токсичности. Попадая в организм, иногда даже через неповреждённую кожу, фенол быстро всасывается и действует на клетки головного мозга. Это может привести к потере сознания и даже остановке дыхания.

Анилин можно получить, заменив один из атомов водорода бензола аминогруппой (рис. 140, Г). Сам по себе анилин бесцветен, однако вводя в него различные химические группы, можно получить устойчивые красители самых разнообразных цветов. Помимо этого, его используют в химической промышленности для получения различных полимеров.

Заменив атом водорода на группу $COOH^-$, можно получить *бензойную кислоту,* обладающую выраженными антисептическими свойствами. Её применяют в медицине для лечения кожных и грибковых заболеваний, а также используют для консервирования продуктов. Производные бензойной кислоты используют в парфюмерной промышленности и при изготовлении красителей. Большое значение принадлежит производному этой кислоты – *парааминобензойной кислоте*. Она является витамином, причем, что особенно важно, не только у человека, но и у большинства болезнетворных бактерий. Синтезировав вещества, блокирующие действие этой кислоты, такие как стрептоцид, сульфадимезин, сульфадиметоксин и другие, фармакологи получили средства борьбы с многими опасными инфекционными заболеваниями.

Существуют соединения, в молекулах которых бензольные кольца расположены так, что имеют общую «стенку». Такие соединения называют ***конденсированными.*** Соединение, состоящее из двух конденсированных бензольных колец, – *нафталин* (рис. 142). Нафталин обладает резким запахом, и в

прошлом его использовали для защиты одежды от моли.

Три кольца бензола, выстроенные в ряд, образуют *антрацен.* Его производное *ализарин* используют для изготовления красителей. Если же три кольца не лежат на одной прямой, а среднее приподнято над крайними, получится *фенантрен,* производные которого входят в состав многих гормонов.

Если циклическая молекула химического соединения состоит только из атомов углерода, то такое соединение называют ***гомоциклическим*** (от греч. homo – одинаковый). Если же в составе цикла находятся атомы других элементов, то такие вещества называют ***гетероциклическими*** (от греч. hetero – разный), а неуглеродные атомы цикла называют гетероатомами. В роли гетероатомов чаще всего выступают кислород, азот и сера. Гетероциклические кольца, так же как и гомоциклические, могут быть шести– или пятичленными, одиночными или конденсированными.

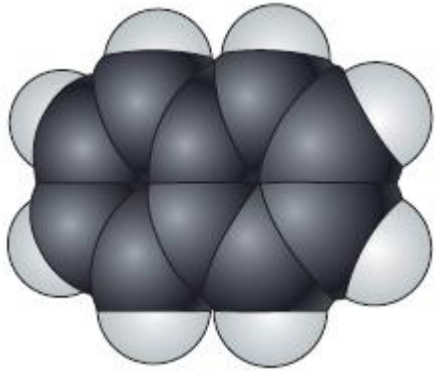


Рис. 142. Масштабная модель молекулы нафталина

Гетероциклические соединения – очень важный класс органических веществ, так как они входят в состав нуклеиновых кислот, алкалоидов (например, никотина, морфина, кофеина), многих лекарственных и других веществ.

Проверьте свои знания

1. Назовите известные вам производные бензола.

2. Какие лекарственные препараты получают из бензойной кислоты?

3. Что такое гомоциклические и гетероциклические соединения?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте презентацию о применении бензола.

§ 56 Высокомолекулярные соединения

Свойства различных органических, как, впрочем, и неорганических веществ в значительной мере зависят от размера их молекул. Вещества с крупными молекулами, состоящими из повторяющихся структурных единиц – мономеров, называют высокомолекулярными веществами, или ***полимерами.*** Огромное число природных соединений являются полимерами. К ним относятся белки, нуклеиновые кислоты, крахмал, целлюлоза, натуральный каучук и многие другие. Рассмотрим общие свойства, характерные для большинства полимеров.

Все эти соединения обладают очень большой молекулярной массой, поэтому их называют ещё и *макромолекулами.* Элементарные звенья (мономеры) – это остатки низкомолекулярных веществ. Полимер может состоять из одного типа мономеров, образуя последовательность типа А – А—А – А—А—… Такие молекулы называют ***гомополимерами.***

Если полимер состоит из нескольких типов мономеров, повторяющихся в регулярном или случайном (часто *кажущемся* случайным) порядке, его называют ***гетерополимером:*** А – В—С – А—В – С– А – В—С—… или А – В—В – С—А – С—А – В—С – С—С – А—…

Некоторые полимеры могут быть разветвлёнными и образовывать сложные трёхмерные структуры (рис. 143).

История исследования полимеров.

Полимеры были известны уже давно (рис. 144). Однако даже в середине XIX в. химики не придавали им значения и даже считали помехой в исследованиях, пытаясь препятствовать нежелательной полимеризации исследуемых ими соединений.

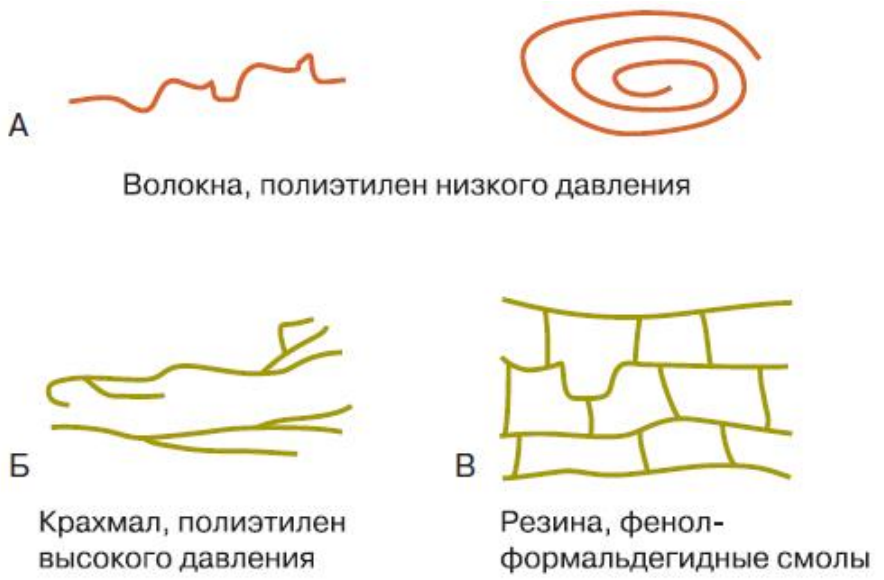


Рис. 143. Структура полимеров: А – линейная; Б – разветвлённая; В – пространственная

Химия полимеров возникла после создания А. М. Бутлеровым теории химического строения, когда была исследована связь между строением и устойчивостью образующихся в процессе полимеризации молекул. Эта отрасль науки стала особенно интенсивно развиваться в связи с исследованием возможности создания синтетического каучука. Каучук был впервые обнаружен Колумбом у индейцев Гаити, которые играли в мяч, сделанный из «сока дерева». Обитателям Юго-Восточной Азии он был известен ещё раньше, чем европейцам, они добывали этот сок и обмазывали им свои корзины и кувшины, чтобы сделать их водонепроницаемыми. Каучук можно добывать из многих растений, но больше всего его содержится в тропических видах, обитающих только вблизи экватора. Поэтому в Европе позапрошлого века он был очень дорог, а производимой на его основе резины, которую вначале использовали только для изготовления подвязок и подтяжек, требовалось всё больше. Попытки создать синтетический каучук и привели к открытию механизма полимеризации.

Получение и использование синтетических полимеров

Полимеры получают путём ***полимеризации*** или ***поликонденсации.***

Рис. 144. В Древнем Египте природные полимеры (смолу дерева Liuamber orientalis) использовали для бальзамирования умерших

Различие между этими реакциями состоит в том, что при полимеризации превращение молекул в полимер происходит без выделения каких-либо других химических соединений, а поликонденсация сопровождается выделением какого-либо вещества, например воды. Реакция поликонденсации носит ступенчатый характер: сначала реагируют друг с другом две молекулы исходного вещества, затем образовавшееся соединение взаимодействует с третьей молекулой исходного вещества, с четвёртой и т. д.

Попытки промышленного создания материалов на основе полимеров начали предприниматься с начала прошлого века. Причём в этой отрасли сразу выделились два направления: создание необходимых материалов на основе естественных полимеров и получение синтетических полимеров из молекул мономеров. Первым из природных полимеров, нашедшим применение в промышленности, была *целлюлоза* (клетчатка). Это самое распространённое в природе органическое вещество, которое является основным структурным компонентом клеточной оболочки всех растений. Мономер целлюлозы – глюкоза, молекулы которой объединяются в длинную неразветвлённую полимерную цепь. Первым промышленным веществом, изготовленным на основе целлюлозы, был *целлулоид*. Начиная с середины XIX в. из него во всём мире изготавливались фото– и киноплёнки, различные галантерейные товары, игрушки, мячи для настольного тенниса и многое другое. Впоследствии на основе целлулоида стали производить прозрачную упаковочную плёнку – целлофан. В то же время началось массовое производство *вискозы* – искусственного волокна, изготовленного из целлюлозы. Вискоза получила огромное признание из-за широкого применения и дешевизны (она изготавливается из отходов текстильной и бумажной промышленности и даже из древесных опилок). Перед тем как из раствора вискозы вытянуть

нити, в него можно добавить различные химические реагенты и красители, в результате можно получить ткань, которая будет похожа на хлопок, шёлк, шерсть и даже атлас или бархат. В Советском Союзе на основе вискозы изготавливали прочный и плотный материал – кирзу, из которой шили сапоги для солдат, охотников и колхозников.

Параллельно шла разработка производства пластических масс и волокон из синтетических полимеров. В 1906 г. была запатентована *бакелитовая (фенолформальдегидная) смола,* которая при нагревании превращается в трёхмерный полимер. В течение многих лет из неё изготавливали корпуса для разнообразной бытовой техники. В 30-х гг. XX в. началось массовое использование *синтетического каучука.* Одновременно с ним появились новые материалы: полиметилметакрилат, известный под названием *плексиглас* или «органическое стекло», а также *полистирол* и *поливинилхлорид* (рис. 145), которые служат прекрасными электроизолирующими материалами.

В послевоенные годы изделия из синтетических волокон стали пользоваться огромной популярностью. Появились очень модные в то время женские чулки из *капрона.*

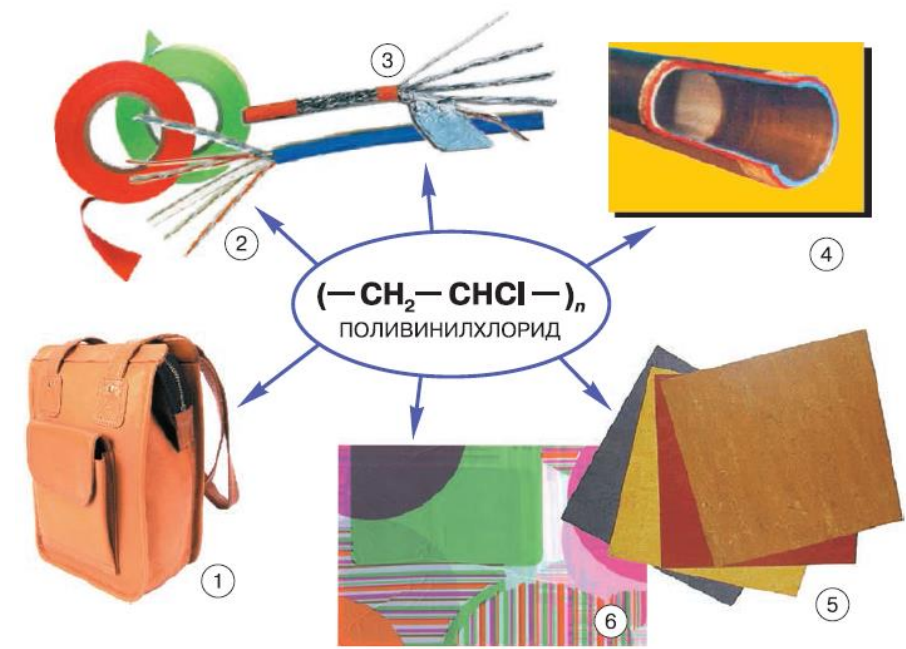


Рис. 145. Применение поливинилхлорида: *1* – искусственная кожа; *2* – изолента; *3* – изоляция проводов; *4* – трубы; *5* – линолеум; *6* – клеёнка

Ему на смену пришли *нейлон* и отечественное изобретение –

лавсан, название которого означает Лаборатория Высокомолекулярных Соединений Академии Наук. Редко кто в то время не мечтал о рубашке, платье или костюме, сшитых из этих материалов.

В середине 50-х гг. XX в. были открыты катализаторы, значительно ускоряющие полимеризацию многих соединений. В результате за короткое время появились такие незаменимые в наше время вещества, как *полиэтилен* и *полиуретаны.* Из полиэтилена изготавливают упаковочную плёнку, всевозможные виды тары, трубы для водопровода, канализации и газоснабжения, а также бронежилеты и корпуса для лодок и вездеходов (рис. 146). Полиуретан применяется почти во всех отраслях промышленности для изготовления всевозможных уплотнителей, защитных покрытий, герметиков, деталей машин, клеев и многого другого. Во время образования полиуретана выделяется газ, поэтому из него можно изготавливать пенополиуретан, или пенопласт.

Таким образом, полимеры за последние полвека коренным образом изменили жизнь человечества. Однако свою главную роль они сыграли задолго до появления человека и продолжают её играть, обеспечивая существование всех людей и вообще всей жизни на нашей планете.

Рис. 146. Применение полиэтилена: *1* – медицинское оборудование; 2 – предметы домашнего обихода; *3* – плёнка для парников; *4* – трубы и шланги; *5* – клейкая лента; *6* – упаковочная плёнка; *7* – пакеты; *8* – детали

Проверьте свои знания

1. Какие соединения называют полимерами? Почему их часто также называют макромолекулами?

2. Что такое гетерополимеры? Сравните гомо– и гетерополимеры.

3. Чем различаются реакции полимеризации и поликонденсации?

4. Какой природный полимер является самым распространённым?

5. Назовите полимеры, чаще всего используемые в промышленности.

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию об использовании полимеров в современном обществе. Вместе с одноклассниками организуйте и проведите дискуссию на тему «Возможно ли развитие современного мира без искусственных полимеров?».

§ 57 Соединения, необходимые для существования жизни: нуклеиновые кислоты, полисахариды

Без полимеров невозможно представить себе существование жизни в любых её проявлениях. Прежде чем на Земле появилась жизнь, на ней образовались ***биополимеры,*** т. е. полимеры, входящие в состав клеток и обеспечивающие их существование. Биополимерами являются нуклеиновые кислоты, белки и полисахариды. Однако не следует забывать, что жизнь на Земле зародилась в водной среде, богатой минеральными солями. Именно уникальные свойства воды позволили нашей планете стать такой, какая она есть сейчас[13].

Нуклеиновые кислоты

Существуют два типа нуклеиновых кислот: ***дезоксирибонуклеиновая (ДНК)*** и ***рибонуклеиновая (РНК) кислота.*** В дальнейшем мы подробно расскажем о функциях, которые они выполняют в клетке, а пока познакомимся с их химическим строением.

Мономерами нуклеиновых кислот являются нуклеотиды. Нуклеотид состоит из трёх частей: азотистого основания, пятиуглеродного углевода (пентозы) и остатка фосфорной кислоты (рис. 147).

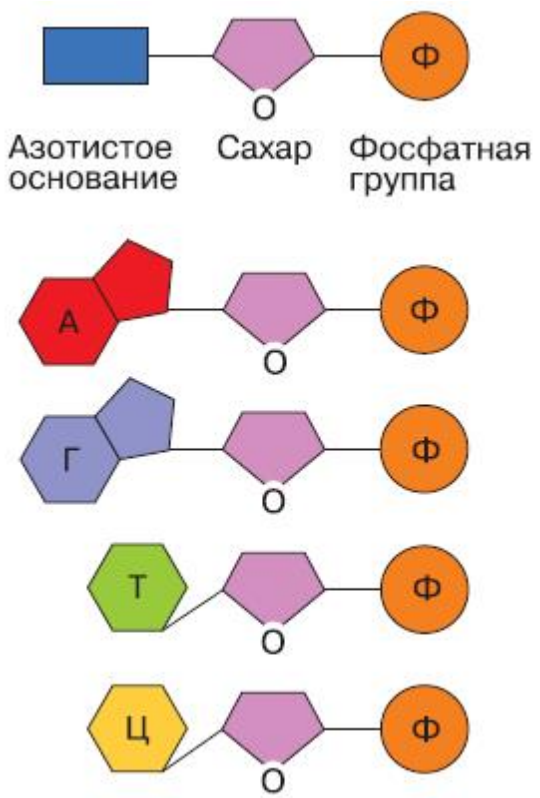


Рис. 147. Общая формула нуклеотида(вверху) и четыре типа нуклеотидов ДНК

Нуклеотид ДНК в качестве азотистого основания может содержать одно из четырёх соединений: аденин, гуанин, тимин или цитозин. Все эти основания являются гетероциклическими соединениями, содержащими в своей молекуле атомы азота. При этом аденин и гуанин (пуриновые основания) состоят из двух конденсированных колец, а тимин и цитозин (пиримидиновые основания) – из одного кольца. К азотистому основанию прикрепляется пентоза – дезоксирибоза, а к ней, в свою очередь, остаток фосфорной кислоты ($H_2PO^-_4$). Таким образом, существует четыре вида нуклеотидов, различающихся входящими в их состав азотистыми основаниями. Их обозначают буквами А, Г, Т или Ц. Соединяясь через остатки фосфорной кислоты, нуклеотиды образуют одну из цепочек ДНК – полимер, в котором нуклеотиды являются мономерами. В одной цепочке молекулы ДНК может содержаться до нескольких сотен миллионов нуклеотидов. Длина самой большой молекулы ДНК человека равна 16 см, в то время как её толщина составляет всего несколько десятых долей нанометра.

ДНК всегда (за исключением некоторых вирусов) состоит из двух параллельных цепочек. Порядок, в котором расположены нуклеотиды в каждой из этих цепочек, находится в строгом соответствии с последовательностью нуклеотидов в другой. Это соответствие называют ***комплементарностью*** (от лат. compementum – дополнение). Оно проявляется в том, что каждому азотистому основанию в одной цепочке ДНК соответствует строго определённое основание, расположенное напротив в другой цепочке, а именно аденину соответствует тимин, а гуанину – цитозин, и наоборот (рис. 148).

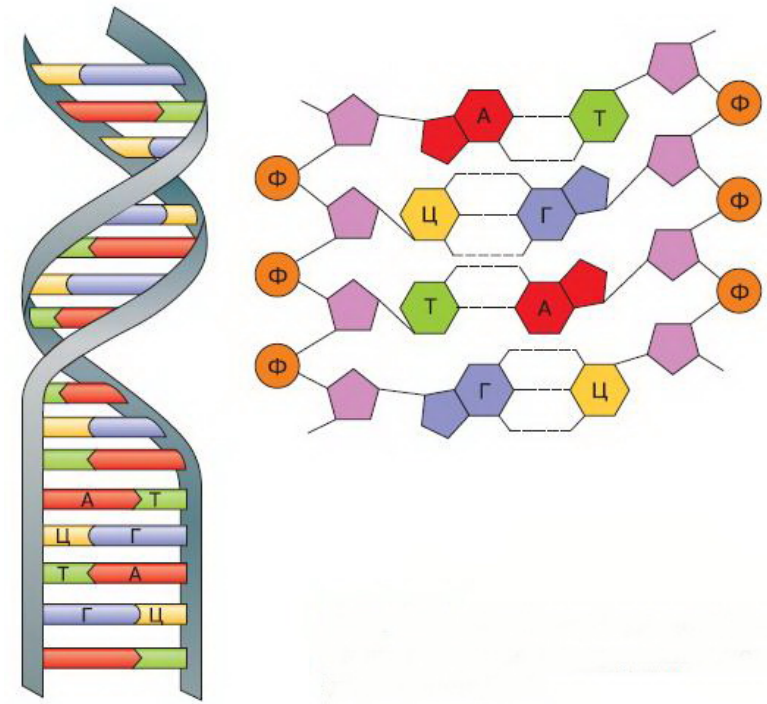


Рис. 148. Образование водородных связей между комплементарными основаниями двух цепей ДНК

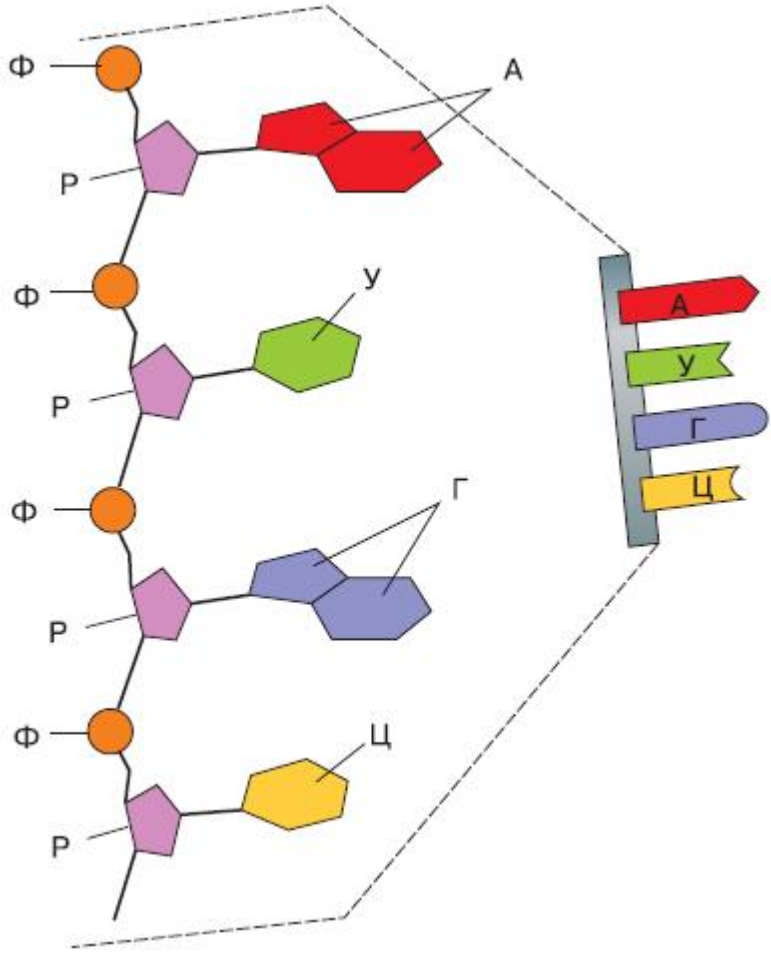


Рис. 149. Структура РНК (Р – рибоза, Ф – фосфатная группа, А, У, Г, Ц – азотистые основания)

Таким образом, если одна из цепочек имеет строение ГГЦТААТГАТЦГ, то вторая, комплементарная ей цепочка будет выглядеть так: ЦЦГАТТАЦТАГЦ. Цепочки ДНК соединены друг с другом водородными связями и закручены так, что образуют так называемую двойную спираль. Благодаря такому строению молекула ДНК способна к самовоспроизведению, или редупликации. Во время этого процесса цепочки разделяются, и каждая достраивает возле себя комплементарную ей цепочку. В результате получаются две абсолютно одинаковые молекулы ДНК. Эта способность ДНК лежит в основе размножения живых организмов.

Рибонуклеиновые кислоты, в отличие от ДНК, – одноцепочечные молекулы (рис. 149). Кроме того, в нуклеотидах

РНК вместо тимина присутствует близкое ему по строению основание урацил, а вместо дезоксирибозы – углевод рибоза.

Полисахариды.

Сложные углеводы – ***полисахариды*** – выполняют в организме множество важных функций. Их мономерами служат ***моносахариды*** – простые сахара с формулой $C_6H_{12}O_6$. Существует три важнейших изомера этого вещества: глюкоза, фруктоза и галактоза (рис. 150).

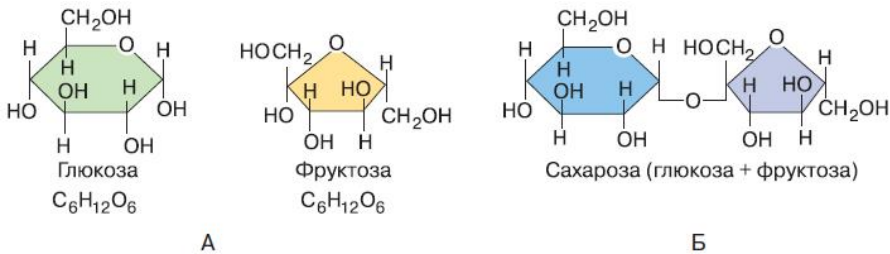


Рис. 150. Моносахариды (А) и дисахариды (Б)

Моносахариды могут объединяться попарно, образуя ***дисахариды*** (см. рис. 150). Три из таких дисахаридов входят в состав пищевых продуктов (табл. 6).

Моносахариды (обычно глюкоза) могут объединяться и в гораздо более длинные цепи, содержащие сотни и тысячи моносахаридных остатков и называемые полисахаридами (рис. 151). Одним из таких полисахаридов является ***крахмал,*** который служит главным запасающим питательным веществом растений. Он представляет собой огромную ветвящуюся молекулу полисахарида, состоящую из тысяч остатков глюкозы. Животные тоже запасают питательные вещества, но в виде полисахарида, называемого ***гликогеном.*** Его молекулы по строению похожи на молекулы крахмала, но более разветвлённые. Самый распространённый на Земле полисахарид – ***целлюлоза,*** или ***клетчатка*** – длинная неветвящаяся цепь, состоящая тоже из остатков глюкозы. Целлюлоза входит в состав оболочки растительных клеток. К полисахаридам относят также хитин – главный компонент наружного скелета насекомых и ракообразных, муреин, входящий в состав оболочки клеток бактерий, и другие необходимые для живых организмов вещества.

Таблица 6
Дисахариды

Дисахариды	Строение	Где содержится
Мальтоза	Глюкоза + глюкоза	Солодовый сахар; проросшие зёрна ячменя, ржи, томаты, пыльца
Сахароза	Глюкоза + фруктоза	Свекловичный (тростниковый) сахар; многие фрукты, плоды
Лактоза	Глюкоза + галактоза	Молочный сахар; молоко и молочные продукты

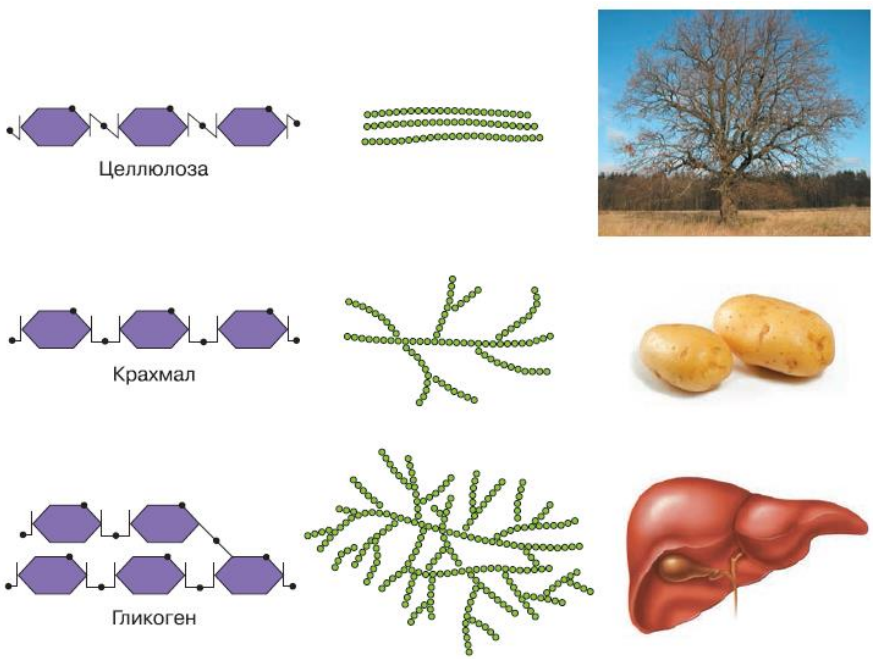


Рис. 151. Строение полисахаридов

Проверьте свои знания

1. Изобразите схематично строение нуклеотида ДНК.

2. Какими связями соединены между собой две цепочки ДНК?

3. Назовите моносахариды, из которых состоит большинство биологических полисахаридов.

4. Какой полисахарид служит запасающим веществом в растительном организме, а какой – в животном организме?

5. Сравните строение молекул ДНК и РНК.

6. Достаточно ли знать, какой моносахарид входит в состав нуклеотидов, чтобы понять, о какой нуклеиновой кислоте идёт

речь?

Задания

1. Используя знания, полученные при изучении биологии растений, объясните, почему в растительных организмах углеводов значительно больше, чем в животных.

2. Участок одной из цепочек ДНК имеет вид ГГЦАТТЦГАА. Как будет выглядеть комплементарная ей цепочка ДНК?

§ 58 Соединения, необходимые для существования жизни: белки, липиды

Белки.

Одними из наиболее важных биополимеров, без которых невозможно представить себе существование жизни, являются *белки.* Мономеры белков – это аминокислоты. Аминокислота обязательно имеет в своём составе карбоксильную группу (—COOH) и аминогруппу (—NH_2) (рис. 152). R – это радикал, который может быть просто атомом водорода, а может представлять собой сложное органическое соединение. В состав белков живого организма входит двадцать аминокислот, отличающихся по строению радикала.

В молекуле белка аминокислоты соединены ***пептидной связью,*** которая образуется между карбоксильной группой одной аминокислоты и аминогруппой другой (см. рис. 152). При образовании такой связи от карбоксильной группы отщепляется гидроксил, от аминогруппы – атом водорода, а освободившиеся валентные связи углерода и азота соединяют остатки двух аминокислот. Гидроксильная группа и водород взаимодействуют друг с другом, образуя молекулу воды. Таким образом, синтез белка – это реакция поликонденсации. Вещество, состоящее из последовательности аминокислот, соединённых пептидными связями, называют ***пептидом.*** Молекула из двух аминокислотных остатков – это дипептид, из трёх – трипептид и т. д. Если аминокислотных остатков в пептиде много, его называют ***полипептидом.*** Число аминокислотных остатков в молекуле белка может варьировать от нескольких сотен до нескольких тысяч. Какой бы длинной ни была полипептидная цепь, она никогда не разветвляется и всегда начинается с аминогруппы (N-конец цепи), а заканчивается карбоксильной группой (C-конец цепи).

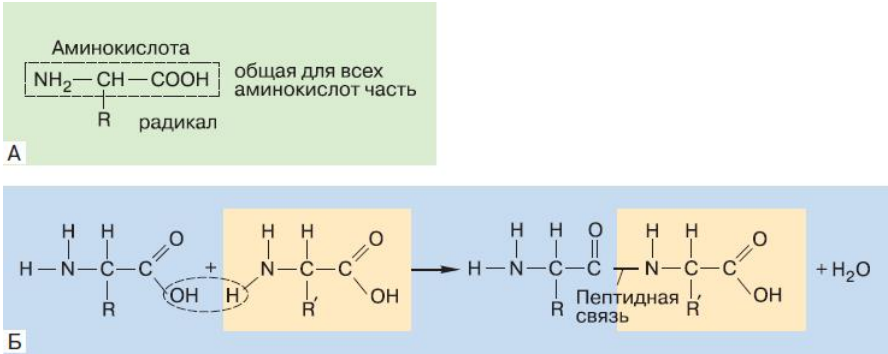


Рис. 152. Общая структурная формула аминокислот, входящих в состав белков (А), и образование пептидной связи (Б)

Линейная последовательность аминокислот в белковой цепи – это ***первичная структура белка*** (рис. 153). Она уникальна для любого типа белка и определяет форму его молекулы, свойства и функции. Цепочка из аминокислотных остатков либо складывается зигзагом, либо сворачивается в спираль, формируя ***вторичную структуру.*** Эта структура возникает в результате образования связей между группами = C = O и H – N = разных аминокислотных остатков полипептидной цепи.

Складчатая или спиральная молекула сворачивается дальше, образуя ***третичную структуру.*** Прочность третичной структуры обеспечивается ионными, водородными, дисульфидными и другими связями. Свёрнутую спираль полипептида обычно называют глобулой (от лат. globulus – шарик). В форме третичной структуры белок уже может выполнять свои функции.

Некоторые белки имеют ещё и ***четвертичную*** структуру, которая образуется при соединении нескольких глобул. Например, гемоглобин человека представляет собой комплекс из четырёх таких субъединиц.

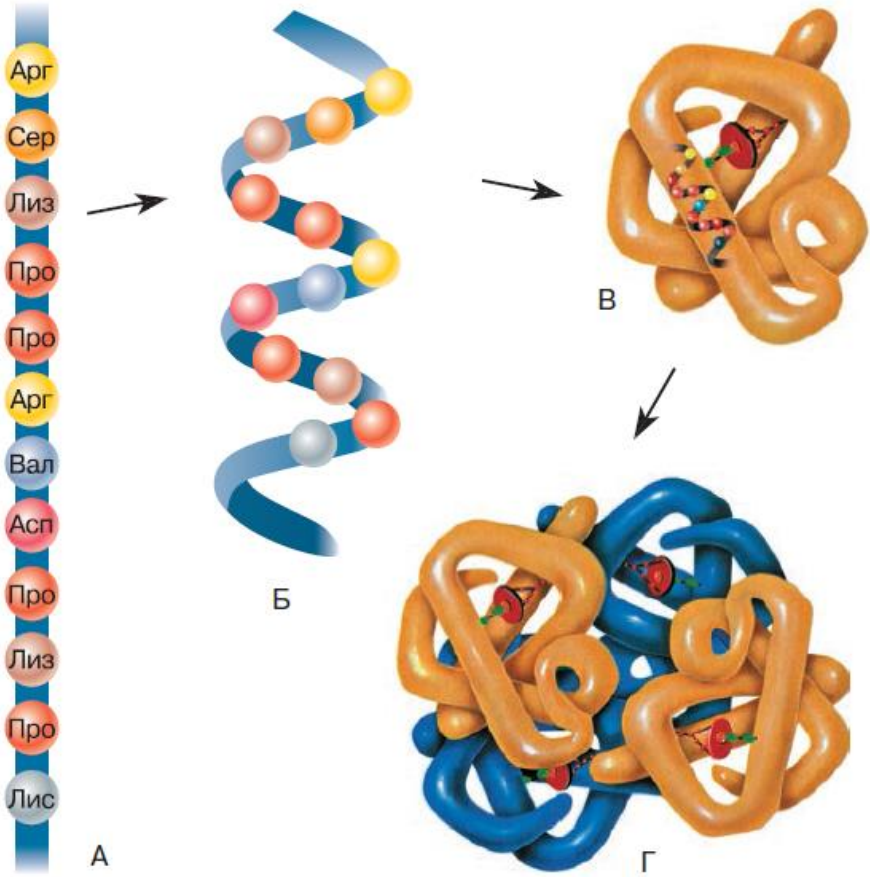


Рис. 153. Первичная (А), вторичная (Б), третичная (В) и четвертичная (Г) структуры белка

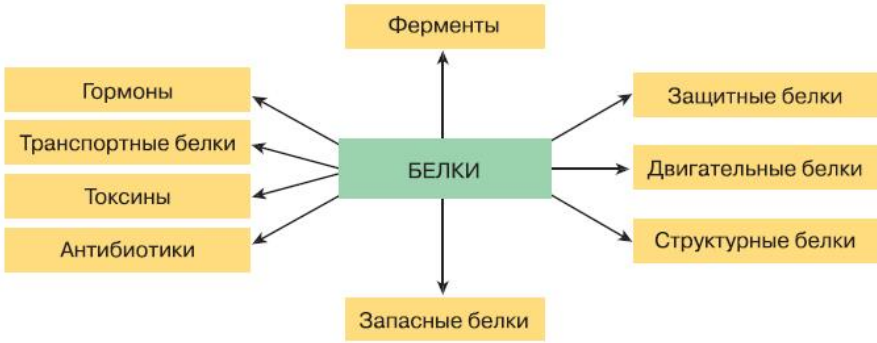


Рис. 154. Функции белков

Огромное разнообразие белковых молекул подразумевает столь же широкое разнообразие их функций (рис. 154). Около 10 000 белков– *ферментов* служат катализаторами химических реакций. Вторая по величине группа белков выполняет

структурную и *двигательную* функции. Белки участвуют в образовании всех мембран и органоидов клетки. Белок коллаген входит в состав межклеточного вещества соединительной и костной ткани, а основным компонентом волос, рогов и перьев, ногтей и копыт является белок кератин. Сократительную функцию мышц обеспечивают белки актин и миозин. *Транспортные* белки связывают и переносят различные вещества и внутри клетки, и по всему организму. Белки-гормоны обеспечивают регуляторную функцию.

При попадании в организм человека чужеродных белков, вирусов или бактерий на защиту встают иммуноглобулины – *защитные* белки. Фибриноген и протромбин обеспечивают свёртываемость крови, предохраняя организм от кровопотери. Белками являются сильные микробные токсины, например ботулиновый, дифтерийный, холерный.

При нехватке пищи в организме животных начинается активный распад белков до конечных продуктов, и тем самым реализуется *энергетическая* функция этих веществ.

Утрату белковой молекулой своей структурной организации: четвертичной, третичной, вторичной, а при более жёстких условиях – и первичной структуры называют ***денатурацией*** (рис. 155). В результате денатурации белок теряет способность выполнять свою функцию. Причинами денатурации могут быть, например, нагревание, ультрафиолетовое излучение.

Денатурация может быть обратимой и необратимой. Если при воздействии денатурирующих факторов разрушения первичной структуры молекулы не произошло, при наступлении благоприятных условий денатурированный белок может вновь восстановить свою трёхмерную форму.

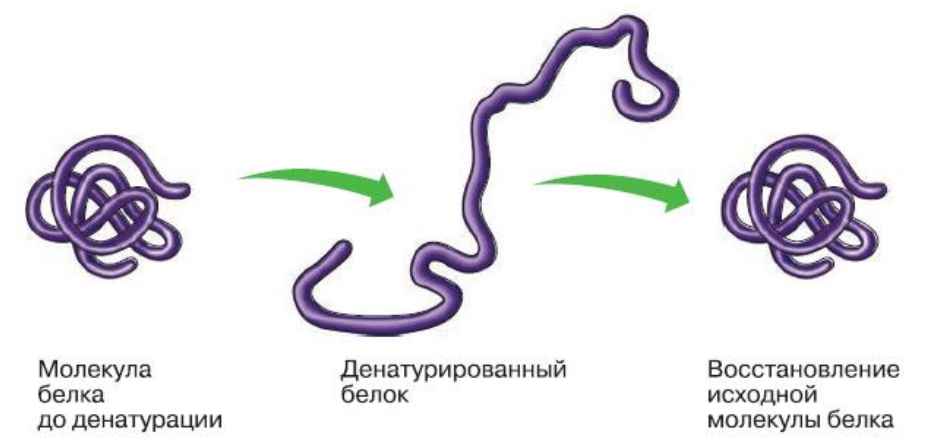


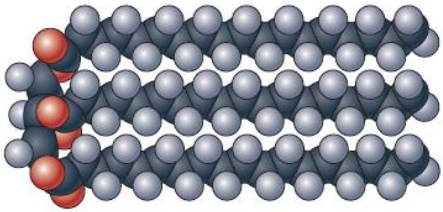
Рис. 155. Денатурация белка

Этот процесс называют ***ренатурацией,*** и он убедительно доказывает, что третичная структура белка зависит от последовательности аминокислотных остатков, т. е. от его первичной структуры.

Липиды.

Среди низкомолекулярных органических соединений, входящих в состав живых организмов, важную роль играют ***липиды.*** К этой группе относят жиры, воски и различные жироподобные вещества. Это гидрофобные соединения, нерастворимые в воде. ***Жиры*** по химическому строению представляют собой соединение трёхатомного спирта – глицерина с остатками жирных кислот (рис. 156). Жирные кислоты могут быть ненасыщенными или насыщенными, в зависимости от того, имеют они в структуре своей молекулы двойную связь или нет. Соответственно, образованные ими жиры тоже делятся на ненасыщенные и насыщенные. Ненасыщенные жиры при комнатной температуре находятся в жидком состоянии. Из жиров, употребляемых человеком в пищу, к ним относятся растительные масла (подсолнечное, кукурузное, оливковое и др.). Насыщенные жиры при такой температуре находятся в твёрдом состоянии, в чём легко убедиться на примере сливочного масла и сала. Если через ненасыщенное растительное масло пропустить при определённых условиях водород, он присоединится по месту двойной связи в остатке жирной кислоты, и жир станет насыщенным. Подобным образом из растительного масла получают маргарин.

Чрезмерное употребление насыщенных жиров животного происхождения может привести к опасным последствиям. Дело в том, что они содержат ***холестерин*** – вещество, необходимое для жизни, но при избытке способное вызывать закупорку кровеносных сосудов. Это нередко приводит к инсультам и инфарктам. Поэтому животные жиры надо употреблять в ограниченном количестве, заменяя их по возможности растительными маслами.



А

Рис. 156. Модель (А) и схема строения (Б) молекулы нейтрального жира

В организме жиры являются источником энергии и метаболической воды, участвуют в терморегуляции и выполняют защитную функцию. Не менее важное значение имеют жироподобные вещества. Представители этой группы – ***фосфолипиды*** – формируют основу всех клеточных мембран.

Проверьте свои знания

1. Приведите примеры известных вам белков. Какие функции они выполняют?

2. Как образуются вторичная и третичная структуры белка?

3. Вспомните из курса «Человек и его здоровье», какие аминокислоты называют заменимыми, а какие – незаменимыми? Что такое полноценные и неполноценные белки? В какой пище содержатся такие белки?

4. К насыщенным или ненасыщенным жирам относится вещество, изображённое на рисунке 156? Объясните свою точку зрения.

5. A, D, E и K, обладающие высокой биологической активностью. Вспомните из курса «Человек и его здоровье» функции этих витаминов и симптомы их недостаточности. К жироподобным веществам относят также жирорастворимые витамины

6. Объясните, почему липиды не относят к биополимерам.

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Выясните, что произойдёт с белком яйца, если на него подействовать водой, спиртом, ацетоном, кислотой, растительным маслом, высокой температурой и т. д. Удастся ли восстановить структуру белка, вернувшись к исходным условиям?

3. Используя дополнительную литературу и ресурсы сети Интернет, выясните, почему холестерин называют веществом, необходимым для жизни. Выясните, какой у вас уровень холестерина. Оцените, насколько он соответствует норме. Сделайте выводы о своём рационе питания.

Ваша будущая профессия

1. Смоделируйте ситуации, в которых вам могут пригодиться знания, полученные при изучении данной главы.

2. Какие профессии может выбрать специалист в области химии?

3. Согласно официальной статистике, за период с 1999 по 2004 г. Россию покинули 25 тыс. учёных, а 20 тыс. ежегодно работают по системе контрактов за рубежом, что составляет примерно 5–6 % от общего научного потенциала страны. По мнению многих современных социологов, Россия только набирает силу по числу уехавших специалистов. Обсудите в классе, каковы, на ваш взгляд, причины «утечки мозгов». Что можно сделать, чтобы молодые специалисты оставались работать на Родине? (Круглый стол.)

Земля и вселенная

§ 59 Как и что мы видим во вселенной

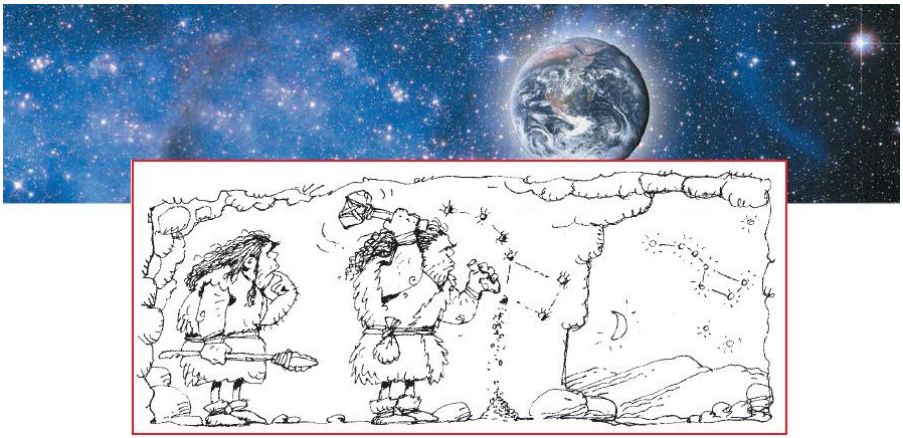
В кромешной тьме
Студёной ночки
Мерцали звёзды-одиночки.

«А что нам прятаться за тучкой?
Сплотиться бы
Могучей кучкой!»

И дикий вихрь летит с известьем:
«Решили Звёзды-одиночки
Вообразить себя
Созвездьем!»

Л. Мартынов

Люди наблюдают за небом с тех самых пор, как они существуют. Яркий огненный шар, каждое утро с величайшей аккуратностью встающий над горизонтом и с такой же аккуратностью уходящий вечером за другую сторону этого горизонта, не мог представляться иначе, как одним из величайших богов, дарующим тепло и свет. Ночью над Землёй нависал необъятный купол небесной сферы, на котором горели звёзды – по всей вероятности, фонари, зажжённые богами и передвигаемые ими с чрезвычайной пунктуальностью. Со временем человечество научилось определять законы движения небесных светил с поразительной точностью. Эти знания были необходимы и для того, чтобы судить о намерениях богов, и для чисто практических целей, например определения сроков сельскохозяйственных работ. Посмотрим на звёздное небо. Если мы находимся на открытой местности, Земля кажется нам круглым плоским диском, границей которого является горизонт. Куда бы мы ни двигались, мы всегда будем находиться в центре этого круга.



Над собой мы видим небосвод – обширную полусферу, край которой находится на горизонте. Центр этой полусферы, т. е. точку, которая находится прямо над вашей головой, называют ***зенитом.***

Для того чтобы сориентироваться в расположении звёзд, проще всего найти сначала Полярную звезду. Если у вас есть компас, можно найти её по компасу – она всегда находится в северном направлении. Но можно обойтись и без компаса, если вы можете узнать созвездие Большая Медведица. Оно имеет форму ковша с ручкой. Если две звезды ковша, расположенные дальше всего от ручки, соединить воображаемой линией и продолжить эту линию на пять таких же расстояний, как и расстояние между этими звёздами, то вы заметите яркую Полярную звезду. Эта звезда является очень важной из-за своего особого положения на небе: она почти точно совпадает с точкой, называемой ***полюсом мира*** (точнее, Северным полюсом мира, потому что есть ещё невидимый для нас Южный). Весь небесный свод как бы вращается вокруг Полярной звезды, а сама она практически остаётся на месте.

Высота, на которой какая-либо звезда находится над горизонтом, определяется углом между земной поверхностью и линией, направленной от вас на эту звезду. Высота, на которой находится Полярная звезда, почти точно совпадает с географической широтой, на которой находится наблюдатель. Если географическая широта вашего местопребывания равна 55°, то и Полярная звезда будет висеть над горизонтом под углом 55° к нему.

Если провести воображаемый полукруг, проходящий через Полярную звезду (т. е. через Северный полюс мира) и зенит, мы получим дугу, называемую ***меридианом,*** а линия, проходящая от наблюдателя к полюсу мира, определяет ***ось мира,*** вокруг

которой с востока на запад вращаются звёзды.

Если мы достаточно долго будем наблюдать за этим вращением, то увидим, что звёзды над западным краем горизонта будут постепенно исчезать, а с востока будут появляться новые звёзды.

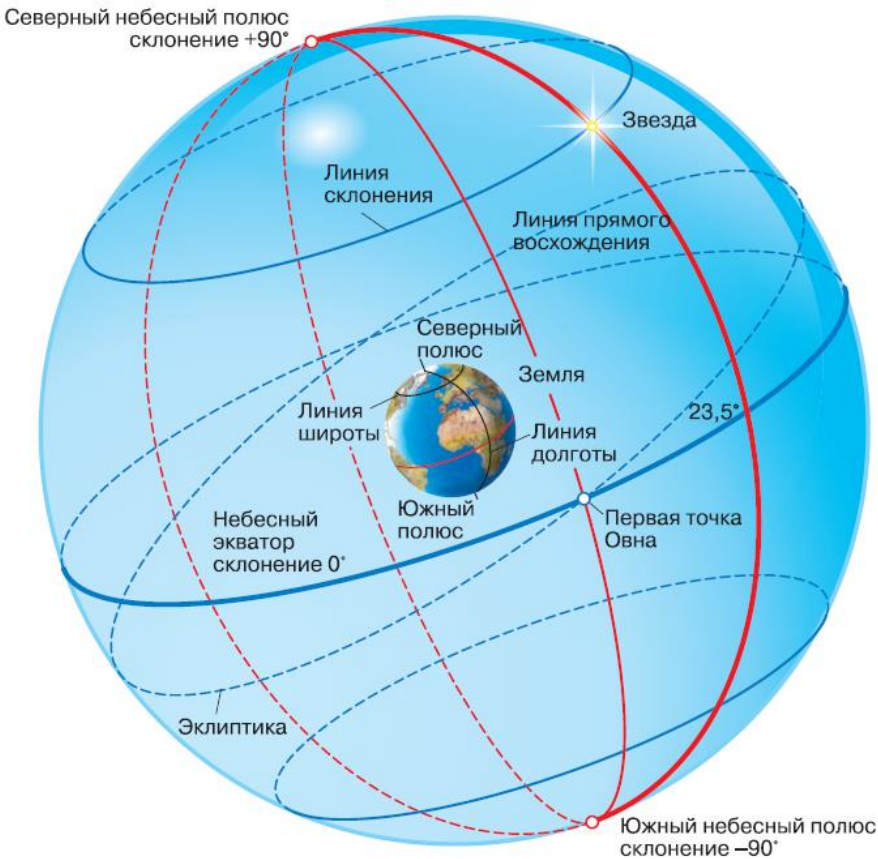


Рис. 157. Концепция небесной сферы помогает астрономам описывать положение звёзд на небе. Для того чтобы определить положение звезды, астрономы пользуются координатной сеткой, подобной сетке широт и долгот на поверхности Земли. Эквивалентом широты является склонение, измеряемое в градусах от небесного экватора. Эквивалентом долготы является прямое восхождение. Его отмеряют от той точки, где Солнце находится на небесном экваторе во время весеннего равноденствия (Первая точка Овна)

В отличие, например, от жителей Древней Месопотамии, нас не удивит появление новых звёзд «из ниоткуда». Мы знаем, что Земля круглая, звёзды находятся не только над нами, но и под нами, а небосвод на самом деле является не полусферой, а целой

сферой[14] (рис. 157). Если продолжить отвесную линию от зенита через наблюдателя и через Южное полушарие к южной небесной полусфере, мы упрёмся в точку, называемую ***надиром.*** Точка же, находящаяся на прямой, проходящей через наблюдателя от Северного полюса мира, называется Южным полюсом мира. Если в плоскости, перпендикулярной этой линии, провести воображаемую окружность произвольного радиуса, мы получим небесный экватор.

Теперь мы можем немного ориентироваться в окружающем нас звёздном мире. Посмотрев на небо, мы увидим множество звёзд, значительно различающихся по яркости. Есть яркие звёзды, сразу обращающие на себя наше внимание, а есть мелкие, еле заметные невооружённым глазом. В зависимости от яркости звёздам приписывают определённую величину. Самые яркие звёзды имеют первую величину, их всего два десятка[15]. Менее ярки звёзды второй величины, их всего около 50, и к ним, в частности, относится Полярная. Невооружённым глазом мы можем увидеть ещё звёзды третьей, четвёртой, пятой и шестой величины, но это уже предел. Звёзды шестой величины можно увидеть, только обладая очень острым зрением и при очень хороших атмосферных условиях. Для ещё более слабых звёзд необходимо пользоваться биноклями и телескопами.

Главной причиной той или иной яркости звёзд служит не то, сколько энергии она испускает, а на каком расстоянии от Земли она находится. Одна из самых ярких звёзд – альфа созвездия Центавра на самом деле не обладает высокой мощностью излучения. Мы видим её такой яркой, потому что она находится к Земле ближе, чем все остальные звёзды.

Все имеющиеся на небосводе звёзды принято разбивать на группы, которые называют ***созвездиями*** (рис. 158). В древности в расположении звёзд люди старались угадать какие-то фигуры и в соответствии с этим давали им названия, почерпнутые главным образом из мифических сюжетов. На звёздных картах наиболее яркие звёзды часто соединяли линиями, чтобы создать представление об определённой графической фигуре. В настоящее время созвездием астрономы называют не фигуры, а определённые участки неба, внутри которых заключены образующие фигуры звёзды. Но неосведомлённый наблюдатель, конечно, не знает точных границ этих участков, а, глядя на небо, рассматривает определённые сочетания звёзд, определяя по ним созвездия.

Посмотрим на созвездия, расположенные поблизости от Северного полюса мира. Сначала мы находим ковш Большой Медведицы. От Полярной звезды начинается ручка ковша Малой

Медведицы. Если мысленно продлить эту линию ещё дальше, мы увидим созвездие Кассиопеи, звёзды которого расположены в виде буквы W. Рядом с Кассиопеей расположено созвездие Цефея. Согласно преданию, Кассиопея была царицей, а Цефей (или Кефей) – её мужем, царём Эфиопии.

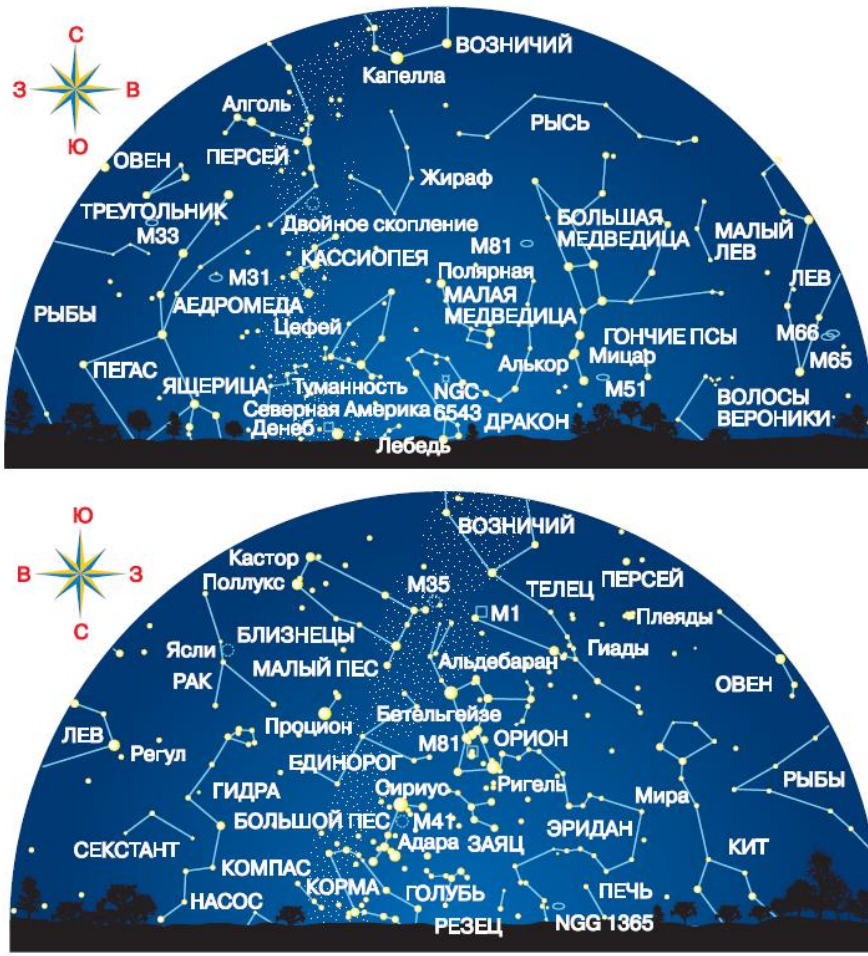


Рис. 158. Созвездия Северного полушария (январь – март)

Созвездия, расположенные вблизи полюса, мало меняют своё положение в зависимости от времени года. Большую и Малую Медведицы можно наблюдать в любое время года. Те же созвездия, которые расположены ближе к экватору, видны только в определённые месяцы, а в остальное время они находятся за горизонтом. Так, Кассиопея и Цефей лучше всего видны во второй половине года, а очень красивое и хорошо заметное созвездие Орион, в которое входят две звезды первой величины (Бетельгейзе и Ригель) и пять звёзд второй величины, можно

увидеть только в зимнее время в южной части неба.

Поскольку Земля совершает годовой оборот вокруг Солнца, то в разные периоды года Солнце будет видно с Земли на фоне различных участков звёздного неба. Если мы вслед за нашими предками будем считать, что Солнце вращается вокруг Земли, то заметим, что вращается оно по большому кругу – ***эклиптике.*** Для удобства эклиптику начиная с V в. до н. э. разделяют на двенадцать участков, которые называют созвездиями зодиака. Слово «зодиак» происходит от того же корня, что и «зоология» и означает приблизительно «круг животных». В течение года Солнце проходит через участки неба, соответствующие различным созвездиям (рис. 159). Дважды в год оно пересекает небесный меридиан.

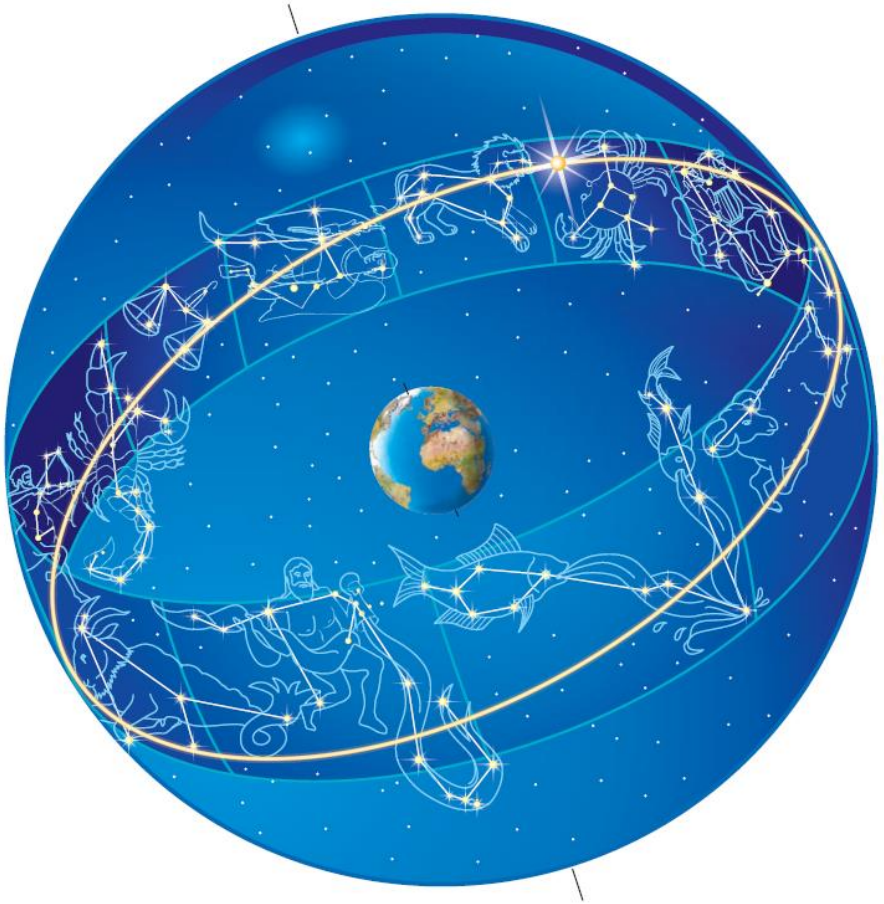


Рис. 159. Схема небесной сферы с Землёй в центре воображаемого зодиакального кольца и путь Солнца по созвездиям зодиака

Это происходит 21 марта, когда Солнце находится в созвездии Рыбы,и 23 сентября, когда оно находится в созвездии Дева. Эти дни называют весенним и осенним равноденствием, когда день равен ночи, и означают соответственно наступление весны и осени.

Проверьте свои знания

1. Какие точки небесной сферы называют зенитом и надиром?

2. Перечислите звёзды первой величины.

3. Где находятся созвездия, которые можно видеть только в определённое время года?

4. Что такое эклиптика?

5. В каких созвездиях находится Солнце в период весеннего и осеннего равноденствия?

Задания

1. Составьте памятку «Как ориентироваться на местности по звёздам».

2. Предположите, где ещё могут пригодиться знания о расположении созвездий на небесной сфере.

3. Вместе с учителем организуйте и проведите экскурсию в планетарий или организуйте виртуальную экскурсию при помощи Интернета.

§ 60 Как исследуют вселенную

А может быть, той звезды уже нет?
Быть может, она, от старости,
Давно из орбиты выпала,
Как драгоценный самоцвет
Из оправы перстня?
Но её холодный свет,
Свежий и холодящий чудесный свет
Вот здесь, на траве, лежит.
И долго, ещё долго будет жить,
Передвигаясь с куста на куст,
Перебираясь Со лба на лоб, —
И к другим перейдёт,
Как песня.

Н. Матвеева

Телескоп Галилея.

Раньше мы уже говорили о том, что в начале XVII в. Галилей, значительно усовершенствовав существовавшую в то время зрительную трубу, направил её на небо. Один из друзей Галилея дал новому прибору название ***телескоп,*** что значит «далеко смотрящий».

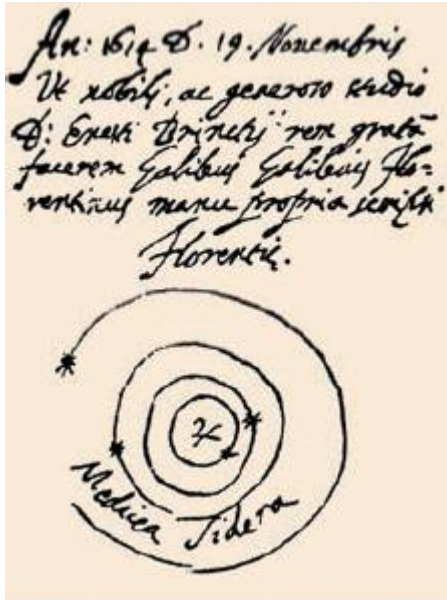


Рис. 160. Страница рукописи Галилея с записью наблюдений за спутниками Юпитера

С 1610 г. Галилей начал регулярно наблюдать за небесными светилами, используя телескоп, увеличение которого ему удалось за короткое время повысить с 3 до 32 раз. Эти наблюдения позволили узнать много нового о внеземном мире.

Так, Галилей обнаружил, что Луна, как и Земля, имеет сложный рельеф и покрыта горами и кратерами. Он открыл четыре спутника Юпитера (рис. 160), обнаружил пятна на Солнце, показал, что оно вращается вокруг своей оси, и вычислил период этого обращения. Телескоп Галилея был устроен довольно просто. Для того чтобы исследовать удалённые от Земли участки Вселенной, пришлось изобрести новые приборы и новые методы исследования. Первые телескопы позволяли увидеть в космосе только те объекты, которые испускают или отражают электромагнитное излучение в видимой части спектра, потому что излучение других диапазонов поглощается атмосферой Земли.

Радиотелескоп.

В 1931 г. американский астроном **Карл Янский** обнаружил короткие радиоволны, идущие от центра галактики. На основе его разработок в 1937 г. был создан первый радиотелескоп, что и знаменовало появление новой науки – ***радиоастрономии***. После

Второй мировой войны конструкция радиотелескопов была значительно усовершенствована (рис. 161).

Рис. 161. Современный радиотелескоп

Радиотелескоп состоит из антенны, которая улавливает приходящие из космоса волны, усилителя сигналов и устройства, позволяющего преобразовывать невидимые радиоволны в излучение видимой области. Так как мощность доходящих до Земли радиоволн очень мала, антенна должна быть очень большой, а усилитель – очень чувствительным. В современных радиотелескопах площади улавливающих антенн составляют десятки тысяч метров.

Для того чтобы по возможности уменьшить поглощение световых волн атмосферой, обсерватории, в которых проводились наблюдения за небесными телами, старались устроить как можно выше в горах. Но наилучшие условия для подобных исследований появились после создания искусственных спутников Земли. Телескопы, установленные на спутниках, позволяют избежать поглощения атмосферой электромагнитного излучения, так как находятся за пределами этой атмосферы. Одним из наиболее известных таких телескопов является аппарат «Хаббл», названный в честь известного астронома (рис. 162). «Хаббл» находится на орбите с 1990 г. С его помощью сделано множество интересных астрономических наблюдений и измерений (рис. 163). Сложная

аппаратура «Хаббла» нуждается в периодическом осмотре и ремонте, для чего требуется время от времени направлять на космическую станцию экспедиции.

Космические лучи.

Различные объекты Вселенной испускают не только свет, инфракрасное излучение и радиоволны (рис. 164), но и электромагнитное излучение с более высокой частотой, а также потоки элементарных частиц, которые называют ***космическими лучами.*** Эти лучи состоят в основном из протонов и ядер гелия (альфа– частиц). Они были открыты в начале XX в., когда над поверхностью Земли было обнаружено радиоактивное излучение.

Рис. 162. Телескопы, установленные на спутниках, позволяют получать наилучшие результаты: А – космический телескоп «Хаббл»; Б – Эдвин Хаббл, американский астроном (1889–1953)

Вначале предположили, что это излучение является излучением самой Земли, но вскоре обнаружили, что его интенсивность не убывает, а возрастает с увеличением расстояния от земной поверхности. Таким образом, космические лучи приходят на Землю извне. Они могут возникать как на объектах Солнечной системы, так и значительно дальше: в звёздах нашей галактики и даже за её пределами. До создания современных приборов космические лучи были основным материалом для изучения элементарных частиц, некоторые из которых были впервые обнаружены именно в составе космических лучей.

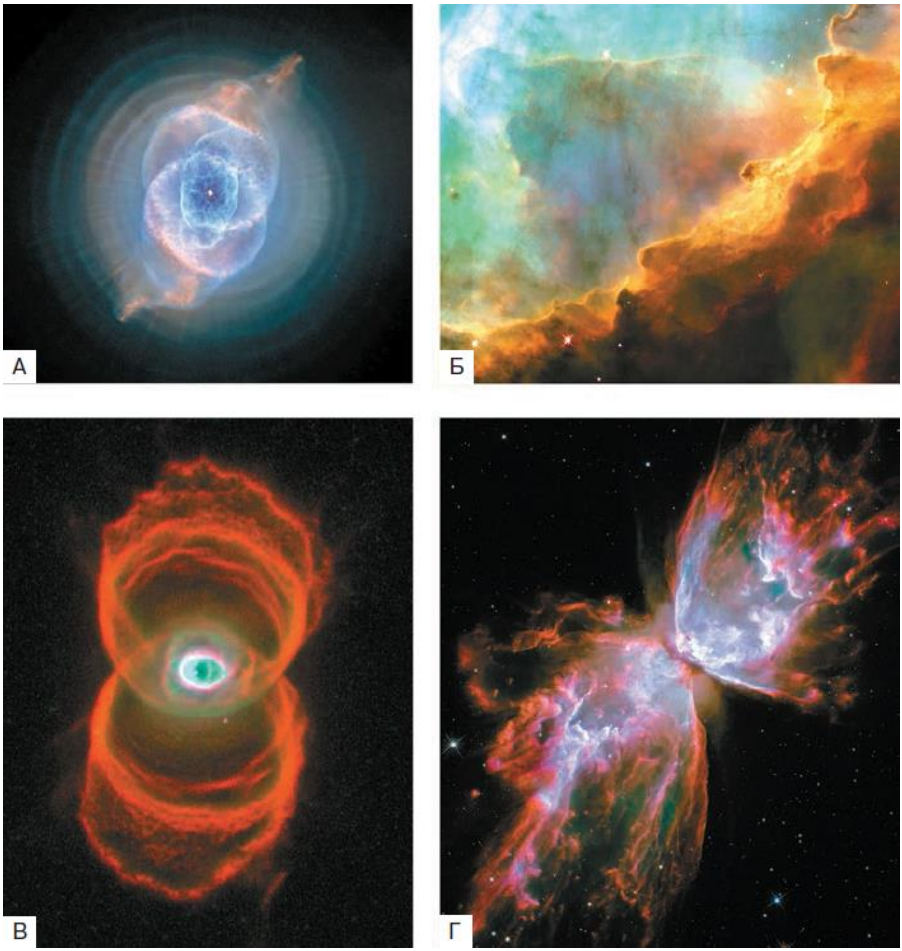
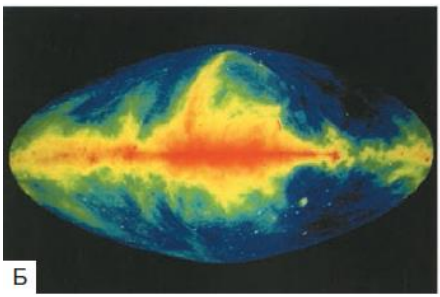


Рис. 163. Снимки туманностей, полученные с помощью телескопа Хаббла: А – Кошачий Глаз; Б – Омега; В – Песочные Часы; Г – Бабочка



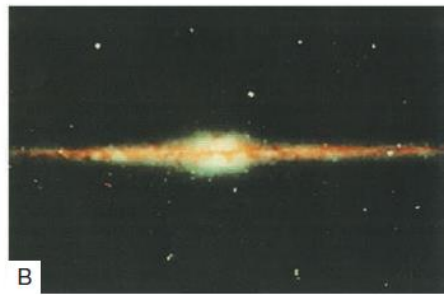


Рис. 164. Ночное небо, увиденное оптическим (А), инфракрасным телескопом (Б) и радиотелескопом (В)

Использование спектрального анализа.

При исследовании планет, звёзд и других космических объектов очень важную роль играет использование спектрального анализа (§ 42). Исследуя спектры испускания и поглощения различных небесных тел, можно с большой точностью определить их химический состав, а также температуру. В предыдущих главах мы говорили о том, что при увеличении температуры предмета его излучение смещается в сторону коротковолновой части спектра. Поэтому звёзды с самой низкой температурой мы видим как красные, а наиболее горячие – как голубые.

Единицы измерения Вселенной.

Многолетние исследования позволили человечеству составить представление о строении Вселенной и находящихся в ней объектах и установить место, которое занимает в ней наша Земля. Огромные, по сравнению с привычными для нас, расстояния, разделяющие звёзды и галактики, а также скорости движения многих космических объектов привели к убеждению, что Вселенная в целом обладает качествами, с которыми нам не

приходится иметь дело в повседневной жизни. Поэтому этот мир получил особое название ***мегамира,*** т. е. огромного мира.

Для того чтобы оценить размеры этого мира, сложно использовать обычные единицы измерения, например километры. Мы получим числа, выраженные десятью в такой огромной степени, что воспринимать и сравнивать их будет чрезвычайно сложно. В качестве единиц расстояния в мегамире для относительно небольших расстояний применяют ***астрономическую единицу,*** а для совсем огромных – ***световой год.*** Астрономическая единица – это среднее расстояние от Земли до Солнца, она составляет 149 600 000 км. Световой год равен расстоянию, которое свет проходит в течение года. Зная, что скорость света равна 300 000 км/с, а год насчитывает 31 536 000 с, нетрудно подсчитать число километров, которое укладывается в один световой год: оно составляет $9{,}46\ 10^{12}$ км, т. е. 9 500 000 000 000 км! Иногда для измерения астрономических расстояний используют единицу, называемую парсек, она примерно в три раза больше светового года и равна $3{,}1 \cdot 10^{13}$ км.

Существующие данные о размере Вселенной свидетельствуют о том, что мы имеем дело с действительно огромным миром, совершенно несопоставимым с привычными для нас масштабами. Самые мощные из существующих телескопов способны разглядеть объекты, находящиеся от нас на расстоянии 28 млрд световых лет, т. е. 10^{23} км. Это означает, что диаметр видимой Вселенной составляет около 60 млрд световых лет. Согласно недавно проведённым расчётам, диаметр Вселенной ещё больше и может доходить до 80 млрд световых лет. Такие размеры представить себе просто невозможно. Если бы диаметр Вселенной был равен диаметру земного шара, то величина Солнечной системы соответствовала бы размерам бактерии.

Тем не менее, несмотря на относительно малые размеры, Солнечная система и особенно Земля имеют огромное значение для человечества, поскольку, по выражению К. Э. Циолковского, являются его колыбелью.

Проверьте свои знания

1. Какие астрономические открытия были сделаны Галилеем?

2. Почему лучшим местом расположения обсерваторий является высокогорье?

3. Из чего состоят космические лучи?

4. С помощью какого научного метода можно определить температуру и химический состав небесных тел?

Задания

1. Расстояние от Земли до Сириуса равно 8,6 светового года. Сколько километров отделяет нас от Сириуса? Выразите расстояние от нашей планеты до Сириуса в астрономических единицах и парсеках.

2. Подготовьте сообщение или презентацию о предмете изучения и развитии науки радиоастрономии.

§ 61 Земля и её вращение

Случились вместе два Астронома в пиру
И спорили весьма между собой в жару.
Один твердил: Земля, вертясь, круг Солнца ходит;
Другой, что Солнце все с собой планеты водит:
Один Коперник был, другой слыл Птоломей.
Тут повар спор решил усмешкою своей.
Хозяин спрашивал: «Ты звёзд теченье знаешь?
Скажи, как ты о сём сомненье рассуждаешь?»
Он дал такой ответ: «Что в том Коперник прав,
Я правду докажу, на Солнце не бывав.
Кто видел простака из поваров такова,
Которой бы вертел очаг кругом жаркова?»

М. Ломоносов

Человечество возникло и живёт на Земле. В течение очень долгого времени люди не могли даже немного приподняться над земной поверхностью. В представлении многих древних народов Земля была Великой Матерью, дающей урожай, и, следовательно, родительницей и кормилицей всего живого. Над Землёй находилось Небо – могущественный и грозный Бог – отец, орошающий дождями мать Землю для того, чтобы она воспроизводила жизнь. В мифологии некоторых народов Земля, наоборот, олицетворяла отца, а небо – мать мироздания. Земля обладала великой силой, которая проявлялась в её способности притягивать к себе все предметы, на ней находящиеся. В русских былинах описывается трагическая история богатыря Святогора, пытавшегося совладеть с «тягой земной».

О физическом устройстве Земли и неба первоначально думали мало. Было достаточно очевидно, что Земля плоская, возможно, имеет форму диска, а над ней находится твёрдый небесный купол, по которому движутся Солнце, Луна и звёзды. Однако представление о том, что Земля является шаром и, возможно, даже вращается вокруг Солнца, возникли уже давно. Впервые предположение о шарообразности Земли высказал в VI в. до н. э. древнегреческий учёный Пифагор. Возможно, он узнал об этом от египетских жрецов, которые вообще не очень стремились делиться своими тайными знаниями. Наиболее полные для античного мира доказательства шарообразности Земли приводит Аристотель. Он говорит о том, что все тяжёлые тела падают на землю под равными углами. Если бы Земля была плоской, то тела падали бы не перпендикулярно, так как стремились бы к центру плоской планеты, а поскольку большинство тел находится далеко от этого центра, они должны были бы падать по наклонной линии. Кроме того, Аристотель обращает внимание на тот факт, что некоторые из звёзд, видных в Египте или на Кипре, не видны в северных странах. Из этого следует, что Земля не только имеет форму шара, но и размеры этого шара невелики по сравнению с расстоянием до звёзд.

За триста лет до нашей эры древнегреческий географ и математик **Эратосфен** (ок. 276–194 до н. э.) пытался опытным путём определить размеры земного шара. Он заметил, что в одном из городов Египта Солнце в день летнего солнцестояния стоит точно в зените и потому освещает дно самого глубокого колодца. Затем он измерил угол падения солнечных лучей в тот же день в другом городе. Зная расстояние между городами, он вычислил длину окружности земного шара, и его расчёты оказались достаточно близкими к современным.

Геоцентрическая теория

Более сложным оказался вопрос о положении Земли относительно Солнца. Большинство греческих философов придерживались ***геоцентрической*** точки зрения, т. е. утверждали, что Земля находится в центре мироздания, а Солнце вместе с другими планетами вращается вокруг неё. Однако в начале III в. до н. э. **Аристарх Самоский** (ок. 310–230 до н. э.) предложил ***гелиоцентрическую*** систему, согласно которой Земля вместе с остальными планетами вращается вокруг Солнца. Такая система в отличие от геоцентрической объясняла смущавшее древнегреческих учёных движение планет. Если движение Солнца

и звёзд хотя и не вполне, но более или менее хорошо соответствовали представлению об их вращении вокруг Земли, то планеты вели себя странно. Траектории их движения вокруг Земли не были такими регулярными. Планеты «блуждали» по небесному своду, откуда и произошло их название. По-гречески «планетес» означает «блуждать», «скитаться». Если предположить, что планеты, так же как и Земля, вращаются вокруг Солнца, такое их движение становилось более понятным.

Однако в Античности гелиоцентрическая теория большого распространения не получила, и в I в. всеобщим признанием стала пользоваться геоцентрическая система, разработанная **Клавдием Птолемеем** (ок. 90—160) – греческим астрономом, математиком, физиком, географом и теоретиком музыки, жившим, как и большинство учёных того времени, в Александрии (рис. 165, 166). Для объяснения сложного движения планет Птолемею пришлось ввести новые понятия и сложную систему дополнительных расчётов, но с учётом этих поправок его теория настолько хорошо совпадала с данными наблюдений, что не вызывала возражений в течение последующих полутора тысяч лет.

Рис. 165. Клавдий Птолемей

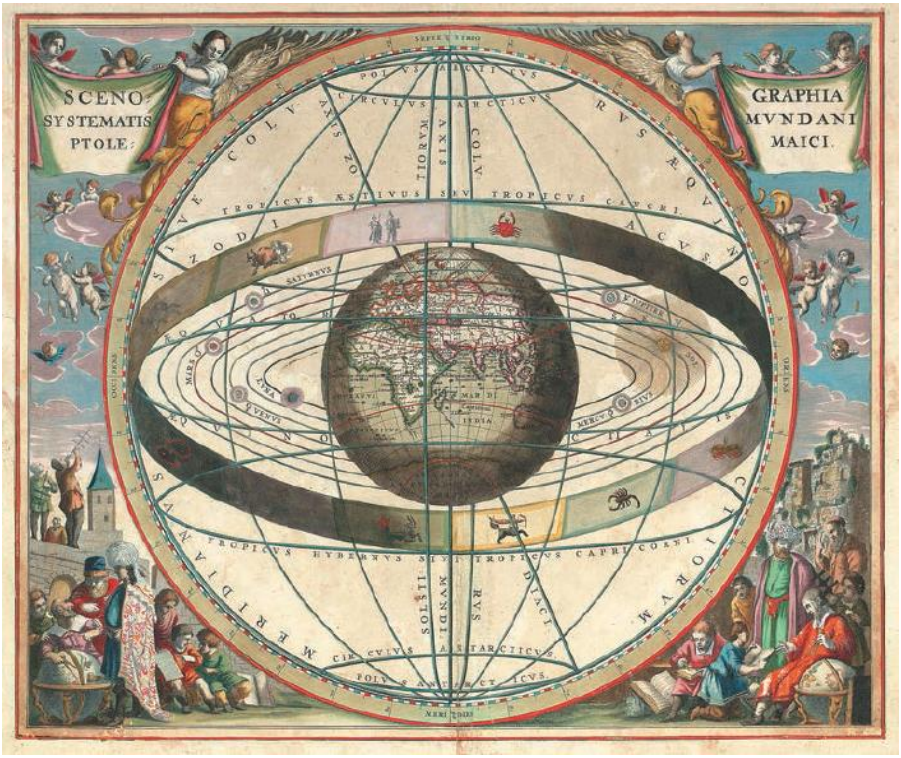


Рис. 166. Геоцентрическая система Птолемея

В раннем Средневековье не существовало единого представления о форме Земли, большинство людей вполне довольствовались понятием «земная твердь». Но в XI–XII вв. Европа познакомилась с трудами древнегреческих мыслителей. Представления Аристотеля и Евклида приобрели большую популярность, в том числе и среди авторитетных христианских философов. К началу эпохи Возрождения общепринятым стало мнение, что Земля представляет собой шар, подвешенный в пустоте без опоры, вокруг которого на небесном своде вращаются звёзды и планеты (Луну и Солнце тоже считали планетами).

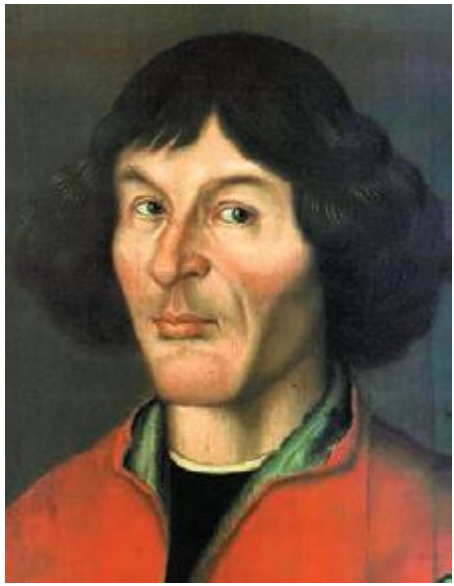


Рис. 167. Николай Коперник

Гелиоцентрическая теория Н. Коперника.

Впервые в птолемеевой системе усомнился польский астроном, математик и экономист **Николай Коперник** (1473–1543) (рис. 167).

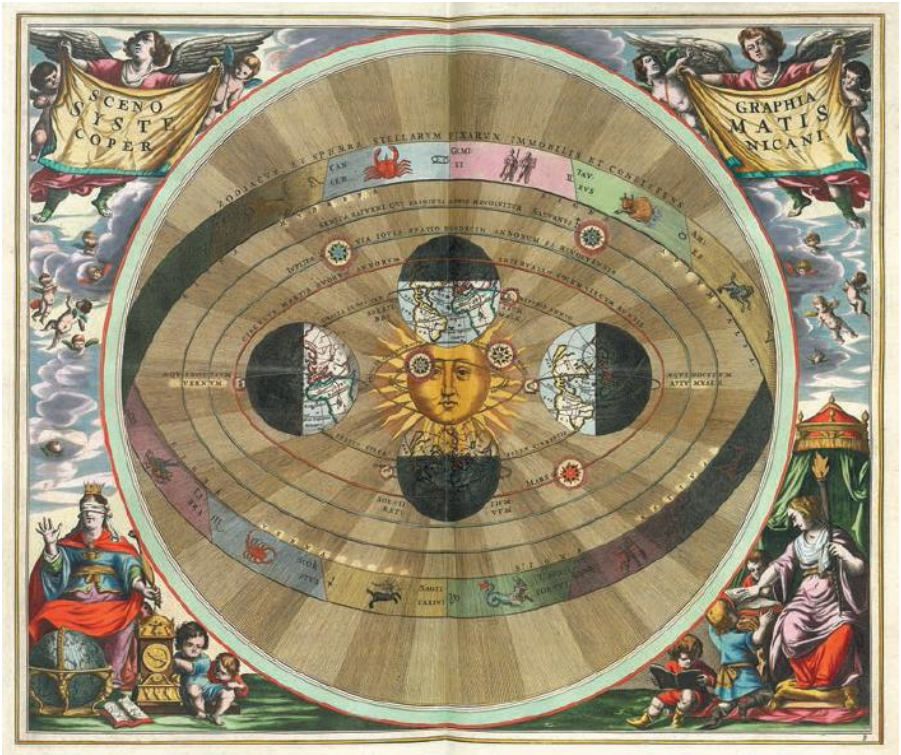


Рис. 168. Гелиоцентрическая система Коперника

В своём труде «Об обращении небесных сфер», изданном в год его смерти, Коперник удивляется чрезмерной сложности системы Птолемея, а обращаясь к трудам других древнегреческих учёных, он приходит к выводу, что центром вращения мира должно быть Солнце (рис. 168). Земля вместе с планетами вращается вокруг Солнца, а Луна является не планетой, а спутником Земли и вращается вокруг неё. Таким образом, суточное движение Солнца воображаемо и вызвано эффектом суточного вращения Земли, которая совершает полный оборот вокруг своей оси за 24 часа. Точно так же перемещение Солнца по зодиаку объясняется не его истинным движением, а вращением Земли вокруг Солнца. Такое представление значительно упрощало расчёты движения планет, однако давало несколько менее точные результаты, чем расчёты, сделанные по системе Птолемея, потому что Коперник считал орбиты Земли и планет не эллиптическими, какими они на самом деле являются, а круговыми. Это и послужило главной причиной продолжительных возражений против гелиоцентрической системы.

Современные представления о движении Земли.

Современные представления о движении Земли сводятся к следующим основным положениям:

1. Околосолнечная орбита Земли, так же как и других планет Солнечной системы, является не очень вытянутым эллипсом, в одном из фокусов которого находится Солнце. Средняя скорость движения Земли по орбите приблизительно равна 30 км/с.

2. Двигаясь по орбите, Земля совершает полный оборот приблизительно за 365,25 солнечных суток (т. е. оборотов Земли вокруг своей оси). Этот промежуток времени называют звёздным годом. Из-за лишних 0,25 суток за четыре года накапливаются полные сутки, поэтому каждый четвёртый год считается високосным и состоит из 366 суток.

3. Из-за того что орбита Земли представляет собой эллипс, Земля в разные времена года находится на различном расстоянии от Солнца. В среднем это расстояние составляет 150 млн км. Точка, в которой Земля находится ближе всего к Солнцу, называется ***перигелием,*** а точка наибольшего отдаления Земли от Солнца – ***афелием***.

4. Земля вращается вокруг своей оси, т. е. прямой линии, соединяющей Северный и Южный полюса. Эта ось не перпендикулярна плоскости земной орбиты, а находится под некоторым углом к ней. В результате в течение одного полугода Земля обращена к Солнцу Северным полюсом, а в течение другого – Южным (рис. 169).

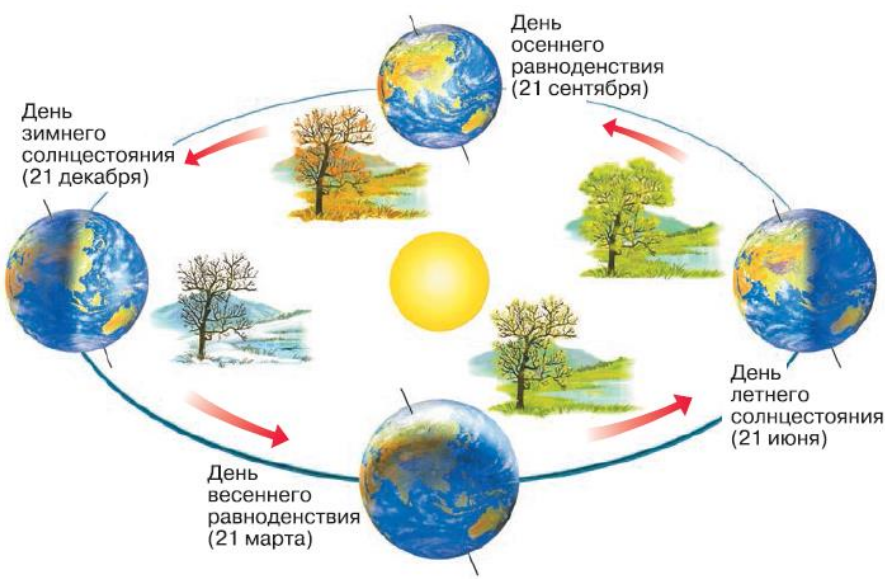


Рис. 169. Вращение Земли вокруг Солнца

Перемена состояния происходит в дни весеннего и осеннего равноденствия, тогда, когда Земля пересекает небесный меридиан. В том полушарии, которое в этот день поворачивается в сторону Солнца, наступает весна, а затем лето. Продолжительность светового дня начинает превышать продолжительность ночи, а на полюсе и в местах, расположенных за полярным кругом, Солнце видно круглосуточно (полярный день). В другом полушарии всё происходит наоборот: наступает осень, температура воздуха падает, продолжительность светового дня снижается, а на полюсе и в его окрестностях Солнце никогда не поднимается над горизонтом (полярная ночь).

Проверьте свои знания

1. Кто и когда впервые определил длину окружности земного шара?

2. Кто и когда впервые предложил гелиоцентрическую теорию? Как вы считаете, почему эта теория не получила в то время большого распространения?

3. Какую форму имеет орбита Земли?

4. Что такое афелий и перигелий?

5. Почему вблизи полюсов бывают полярные ночи и полярные дни?

Задания

В настоящее время во многих зданиях с высокими потолками находятся так называемые маятники Фуко (рис. 170), которые доказывают вращение Земли вокруг своей оси. Объясните принцип работы такого маятника. Если нужно, найдите необходимые сведения в литературе или Интернете.

Рис. 170. Маятник Фуко

§ 62 Земля и её строение

Всевышний граду Константина
Землетрясенье посылал,
И геллеспонтская пучина,
И берег с грудой гор и скал
Дрожали, и царей палаты,
И храм, и цирк, и гипподром,
И стен градских верхи зубчаты,
И всё поморие кругом.

Н. Языков

Солнечная система включает в себя Солнце и естественные космические тела, вращающиеся вокруг него и связанные с ним силой гравитационного притяжения. Солнечная система состоит из больших планет, карликовых планет и астероидов, вращающихся вокруг Солнца по орбитам, имеющим форму эллипса. Кроме того, в неё входят спутники, вращающиеся около планет и некоторых астероидов. Земля относится к большим планетам и среди них находится на третьем по счёту расстоянии от Солнца. Ввиду особой важности Земли для существования человечества, мы рассмотрим её первой.

Земной шар не является идеальным шаром, а представляет собой круглое тело, сплюснутое с полюсов. Такая форма именно в честь нашей планеты получила название ***геоид*** (от греческого названия Земли – Гея)[16]. Она возникла в результате действия центробежной силы при вращении Земли. В результате диаметр нашей планеты, проходящий через экватор, больше расстояния между полюсами на 43 км. Средний диаметр Земли около 12 740 км, а её масса – $5 \cdot 10^{24}$ кг.

Литосфера.

Земля состоит из твёрдой коры, мантии и металлического ядра (рис. 171). Земная кора – это верхняя часть твёрдой оболочки Земли. Толщина её колеблется от 6 км под океаном до 50–60 км на континентах. Основные вещества, образующие кору, – это оксиды кремния и в меньшей степени алюминия,

кальция, магния, железа, натрия и калия. Поэтому самым распространённым химическим элементом в коре является кислород. Под корой находится верхняя плотная часть мантии. Вместе они образуют твёрдую внешнюю оболочку Земли, которую называют ***литосферой.***

Рис. 171. Схема строения Земли

Литосфера состоит из нескольких тектонических плит, которые плавают по вязкой нижней части мантии со скоростью нескольких сантиметров в год. Из-за этого движения число и форма материков со временем меняются. Считают, что 750 млн лет назад на Земле существовал единый материк, который затем раскололся, образовав современную карту Земли.

Мантия находится на глубине от 35 до 3 тыс. км от поверхности Земли и составляет почти 70 % массы планеты. Основными химическими элементами мантии являются кислород, кремний и магний.

Глубже мантии находится ядро. Его внешняя часть является жидкой, а внутренняя – твёрдой. Состав ядра точно не определён, но известно, что оно состоит преимущественно из металлов, среди которых первое место занимает железо. Вероятно, в ядре происходит радиоактивный распад некоторых элементов, в результате которого образуется внутреннее тепло нашей планеты. Предполагают, что в центре Земли температура поднимается до 3000–5000 °С, а давление достигает нескольких миллионов атмосфер. Часть этого тепла поднимается к земной коре.

При высоких температурах породы, формирующие кору или верхнюю часть мантии, могут плавиться, образуя огненно-жидкий

расплав. Он состоит в основном из соединений кремния и носит название ***магмы.*** Магма, изливающаяся на поверхность Земли, образует ***лаву.***

Места, где магма извергается на поверхность Земли, называют вулканами (рис. 172). Это название произошло от имени римского бога Вулкана (греческий аналог – Гефест), имевшего под землёй металлоплавильные и кузнечные мастерские. Вместе с лавой вулканы выбрасывают вулканические газы и куски лавы. Такие выбросы могут происходить с различной периодичностью в зависимости от активности данного вулкана и называются вулканическими извержениями. Извержение вулкана может привести к серьёзным стихийным бедствиям.

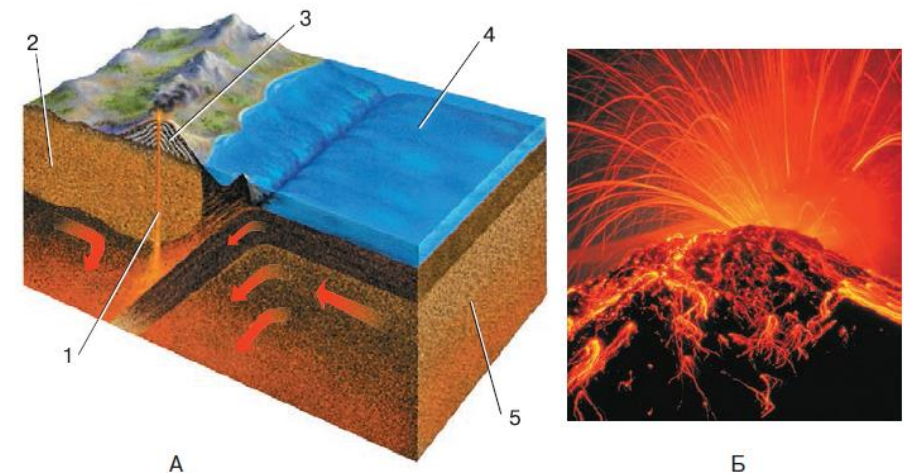


Рис. 172. Вулкан: А – схема строения; Б – извержение;
1 – магма, *2* – континентальная кора, *3* – конус вулкана, *4* – океан, *5* – океаническая кора

Иногда под потоками лавы исчезают огромные территории и гибнут многие города. Одним из самых известных по своим трагическим последствиям было извержение вулкана Везувия в Южной Италии в 79 г. н. э., которое длилось около суток и привело к гибели трёх городов: Помпей, Геркуланума и Стабии, а также многих селений и вилл. Сила извержения была такова, что пепел от него долетел до Египта и Сирии. В 2010 г. исландский вулкан Эйяфьятлайокудль, внезапно проснувшись, выбросил столько пепла, что тот разлетелся по всей Европе и вызвал отмену более 60 тыс. авиарейсов.

До сих пор неясным остаётся происхождение тепла, которое вызывает плавление твёрдых пород и образование магмы. Некоторые исследователи полагают, что оно является результатом радиоактивных процессов, но большинство

полагают, что нагревание происходит в результате трения при движении литосферных плит.

Землетрясения.

Подвижность тектонических плит может привести к землетрясениям. Быстрый сдвиг участка земных пород вызывает колебательные движения – ***сейсмические волны.*** Участок земной поверхности, расположенный непосредственно над точкой сдвига – очагом, называют ***эпицентром*** землетрясения. От очага землетрясения волны распространяются во все стороны со скоростью до 8 км/с. Для обнаружения и регистрации сейсмических волн используют специальные приборы – сейсмографы, которые сконструированы так, что при толчке одна их часть остаётся неподвижной, а вторая сдвигается. Такой прибор может непрерывно записывать сейсмические колебания, регистрируя даже незначительные сдвиги в земной поверхности. Для измерения силы землетрясения обычно используют двенадцатибалльные шкалы, где 1–2 балла соответствуют землетрясению, которое ощущается только приборами или очень чувствительными людьми, а те, которые оцениваются 11–12 баллами, приводят к обвалам, оползням, разрушениям городов и другим катастрофическим явлениям. В течение года на Земле происходит около 10 тыс. ощущаемых людьми землетрясений. Из них около ста производят значительные разрушения.

Гидросфера и атмосфера.

Помимо твёрдой литосферы Земля имеет ещё две оболочки – жидкую ***гидросферу*** и газообразную ***атмосферу***. Гидросфера делится на Мировой океан, занимающий 70,8 % площади нашей планеты, воды суши и водяной пар в атмосфере. Более 96 % воды на Земле находится в Мировом океане, около 2 % – в подземных водах, столько же – в составе ледников и вечных снегов, и только около 0,02 % общей воды составляют поверхностные водоёмы суши. Мировой океан – это совокупность пяти океанов (Тихого, Атлантического, Индийского, Северного Ледовитого и Южного) и морей, имеющих сообщение с этими океанами. Средняя глубина Мирового океана составляет 3800 м, самое глубокое место (около 11 км) – Марианская впадина Тихого океана. Некоторые моря не отделены от океана участками суши. Таково, например, Саргассово море, расположенное возле Центральной Америки.

Его границы определяются не сушей, а морскими течениями.

Атмосфера – это газовая оболочка Земли. Её толщина, т. е. расстояние от поверхности планеты, на котором ещё можно обнаружить атмосферные газы, доходит до 2–3 тыс. км, однако для жизнедеятельности человека и других организмов наибольшее значение имеет её самый нижний слой – ***тропосфера,*** толщина которой составляет от км вблизи полюсов до 18 км в тропических районах. Воздух тропосферы на 78 % состоит из азота, на 21 % из кислорода и на 0,04 % из углекислого газа, остальная часть приходится на инертные газы. Над тропосферой на высоте до 50 км находится стратосфера, а над ней ионосфера, которая хотя и содержит атмосферные газы, строго говоря, уже не является атмосферой Земли, а представляет собой ближайшую к ней часть космического пространства. На высоте 20–40 км под действием ультрафиолетового излучения Солнца кислород ионизируется, приобретая третий атом, и превращается в озон (O_3). Образовавшийся озоновый слой поглощает опасные для живых организмов ультрафиолетовые лучи. Если бы этого слоя или, как говорят, озонового экрана не существовало, жизнь на Земле могла бы существовать только под водой.

Для нормальной жизни человека необходимо, чтобы в окружающем его воздухе находилось достаточное количество кислорода. Вместе с тем при удалении от поверхности Земли атмосферное давление падает, и воздух становится всё более разреженным. Уже на высоте 5 км над уровнем моря у нетренированного человека проявляется кислородное голодание, сопровождающееся снижением работоспособности. На высоте 15 км кислорода в атмосфере настолько мало, что дыхание человека становится невозможным.

Проверьте свои знания

1. Каковы средний диаметр и масса Земли?

2. Из каких внутренних слоёв состоит Земля? Частью какого из них является земная кора?

3. Как называется магма, которая выходит на поверхность Земли? В каких местах она извергается?

4. Что такое эпицентр землетрясения?

5. Что такое тропосфера? Какие газы и в каком относительном количестве входят в её состав?

§ 63 Солнечная система

Уже с десяток миллиардов лет
природою решается проблема:
какой должна быть звёздная система,
чтоб разум появился в ней на свет?

Не прост вопрос. И трудно дать ответ:
как хочешь зажимай винты и клеммы,
бездушной может стать любая схема
полёта и вращения планет.

Ведь если миллион созвездий мрачных
в пространства колбу бросить всё и сразу,
то пустота их может растворить.

Уныл расчёт попыток неудачных…
Мне кажется, чтоб солнечным был разум,
должна система Солнечною быть.

А. Спейсер

Основой Солнечной системы является Солнце – звезда, относящаяся к категории жёлтых карликов. По сравнению с большинством звёзд Вселенной Солнце действительно имеет небольшие размеры. А то, что Солнце жёлтое, означает, что оно имеет среднюю температуру – не горячее (в таком случае оно было бы голубым) и не слишком холодное (иначе оно было бы красным). Масса Солнца в 333 тыс. раз больше, чем масса Земли.

Энергия Солнца образуется в результате проходящего в нём термоядерного синтеза, «топливом» для которого служит водород. При объединении ядер водорода образуются ядра гелия, что сопровождается освобождением очень большого количества энергии. Расчёты показывают, что Солнце в настоящее время находится в середине своей эволюции и запасов водорода должно хватить ещё на несколько миллиардов лет.

Солнце испускает свет, а также поток заряженных частиц, распространяющийся со скоростью около 1,5 млн км в час и называемый солнечным ветром. Солнечный ветер способен срывать атмосферу планеты. Именно так происходит на Венере и Марсе. Атмосфера же Земли защищена от этого разрушительного действия магнитным полем. В результате действия магнитного поля Земли частицы солнечного ветра уносятся в верхние слои атмосферы, где и могут иногда наблюдаться в виде полярных сияний.

Большая часть объектов сосредоточена у восьми планет Солнечной системы, которые движутся вокруг Солнца в плоскости эклиптики по эллиптическим, хотя и довольно близким к круговым, орбитам (рис. 173). Ближайшей к Солнцу планетой является ***Меркурий***. Он находится на расстоянии 0,4 астрономической единицы от Солнца и является самой маленькой планетой Солнечной системы, его масса почти в двадцать раз меньше массы Земли. Меркурий не имеет спутников и окружён крайне разреженной атмосферой. Существует гипотеза, что когда-то Меркурий был более крупной планетой, но утратил свою часть вследствие столкновения с большим космическим объектом.

Венера, вторая планета Солнечной системы, по размерам близка Земле и, так же как и она, имеет толстую кремниевую оболочку вокруг железного ядра. Венера самая горячая планета в Солнечной системе, температура её поверхности около 400 °С. На Венере есть очень плотная атмосфера, состоящая в основном из углекислого газа.

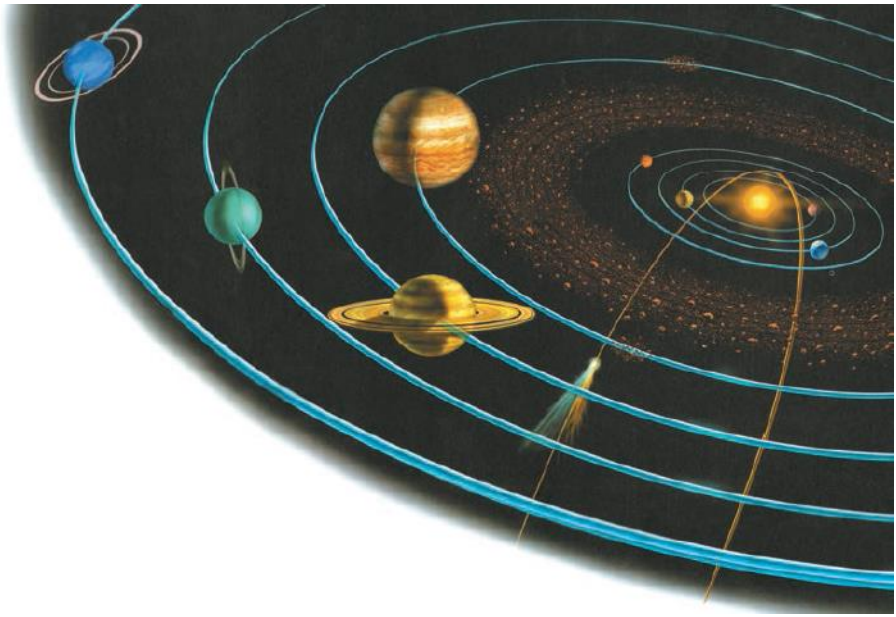


Рис. 173. Схема Солнечной системы

Так как эта атмосфера постоянно сдувается солнечным ветром, предполагают, что она постоянно пополняется за счёт вулканических извержений. Спутников Венера не имеет.

Четвёртая планета – ***Марс.*** Его масса примерно в 10 раз меньше массы Земли. Он обладает атмосферой, приблизительно в два раза менее плотной, чем атмосфера Земли, и состоящей из углекислого газа. На его поверхности есть вулканы, самый большой из которых, Олимп, имеет высоту 21 км, что значительно больше самых высоких вулканов Земли. Так же как и на Венере, эти вулканы пополняют срываемую солнечным ветром атмосферу Марса. Поверхность этой планеты содержит большое количество оксида железа, что и объясняет его красноватый цвет, за который он получил имя бога войны Марса. Так же как и одноимённого бога на поле боя, планету Марс сопровождают два спутника: Фобос (страх) и Деймос (ужас).

Меркурий, Венера, Земля и Марс называются внутренними планетами Солнечной системы или ***планетами земной группы.*** Они состоят в основном из соединений кремния и металлов. Остальные четыре планеты называют ***газовыми гигантами,*** преимущественно они состоят из водорода и гелия. Общая масса планет-гигантов составляет 99 % массы всех тел Солнечной системы, кроме, разумеется, самого Солнца. Все они имеют кольца из пыли и льда, вращающихся вокруг планеты, хотя с Земли видны только кольца Сатурна.

Пятая по расстоянию от Солнца планета – ***Юпитер***. Его масса

в 2,5 раза больше всех остальных планет вместе взятых и в 318 раз больше массы Земли. Юпитер имеет 63 спутника, самые большие из которых – Ганимед, Каллисто, Ио и Европа – по строению схожи с планетами земной группы. Ганимед является самым большим в Солнечной системе спутником, его масса больше массы Меркурия.

Следующая планета – ***Сатурн*** – известна своей системой колец. Его структура схожа со структурой Юпитера, но масса почти в два раза меньше, хотя почти в 100 раз превышает массу Земли. Он имеет 61 спутник, из которых один – Титан – является единственным в Солнечной системе спутником, обладающим собственной атмосферой.

Уран – седьмая по счёту планета солнечной системы является самой лёгкой из внешних планет. Его масса всего в 14 раз больше массы Земли. Особенностью Урана является то, что наклон оси его вращения к плоскости эклиптики больше 90°. Если другие планеты можно сравнить с вращающимися волчками, то Уран похож на катящийся шар. Так же как и следующая планета – Нептун, Уран, помимо водорода и гелия, содержит в своём составе много льда. У Урана известно 27 спутников, самые крупные из которых – Оберон, Титания, Умбриэль, Ариэль и Миранда.

Последняя, восьмая, планета Солнечной системы – ***Нептун***. Масса его в 17 раз больше, чем масса Земли. Он имеет 13 спутников, на самом крупном из которых – Тритоне – имеются гейзеры, бьющие жидким азотом. От других планет Нептун отличается тем, что вращается вокруг Солнца в противоположном направлении.

Пояс астероидов

Между Марсом и Юпитером находится пояс астероидов (рис. 174). Астероидами называют небесные тела размером от нескольких метров до сотен километров. Они значительно меньше больших планет, но, несмотря на это, могут иметь собственные спутники. Астероиды относятся к малым телам Солнечной системы. Самые крупные астероиды называют карликовыми планетами. В настоящее время известно несколько сотен тысяч астероидов, но предполагают, что их общее число может достигать почти 2 млн. Несмотря на это, общая масса астероидов не превышает 0,001 массы Земли. Раньше самым крупным астероидом считалась Церера, имеющая почти 1000 км в диаметре, но с недавнего времени её принято относить к

карликовым планетам. После Цереры единственным астероидом, который можно регулярно видеть в небе невооружённым глазом, является Веста. Её диаметр составляет около 500 км. Другие астероиды можно видеть только во время их прохождения вблизи Земли.

Пояс Койпера.

Второй пояс малых тел Солнечной системы, называемый поясом Койпера, – область от орбиты Нептуна до расстояния около 55 астрономических единиц от Солнца. Он значительно больше пояса астероидов. В отличие от объектов пояса астероидов, которые состоят из горных пород и металлов, тела этого пояса построены из замёрзшей воды, метана и аммиака.

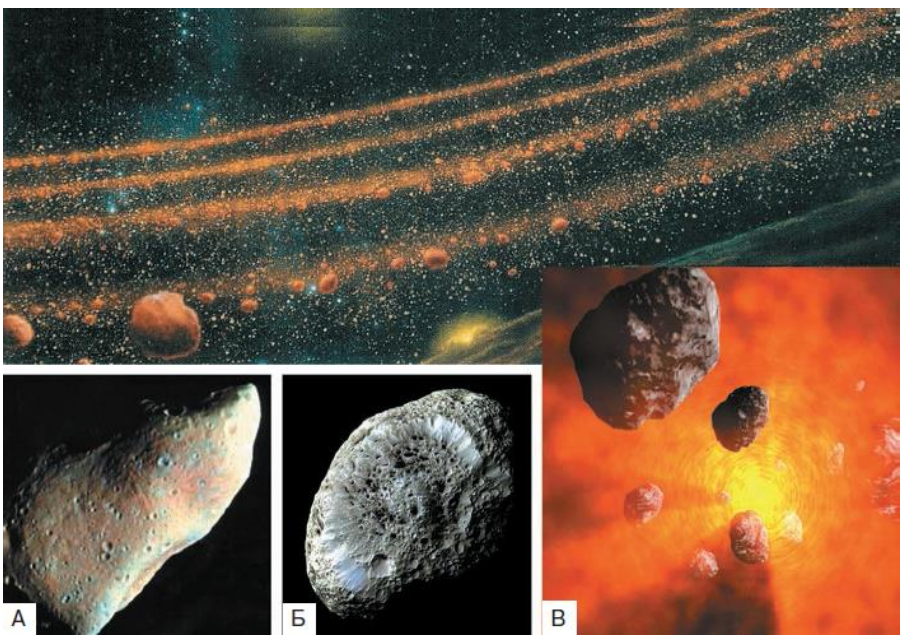


Рис. 174. Астероиды: А – астероид Гаспра; Б – астероид Итокава; В – пояс астероидов

Здесь находятся три карликовые планеты, в том числе Плутон, который раньше считали полноправной большой планетой.

Кометы

В число малых тел Солнечной системы входят также ***кометы,***

которые состоят из «льдов» – застывшей воды, метана или других газов и имеют обычно размеры в несколько километров (рис. 175). Они движутся по сильно вытянутым орбитам, так что их перигелий находится в области внутренних планет, а афелий – за орбитой Плутона.

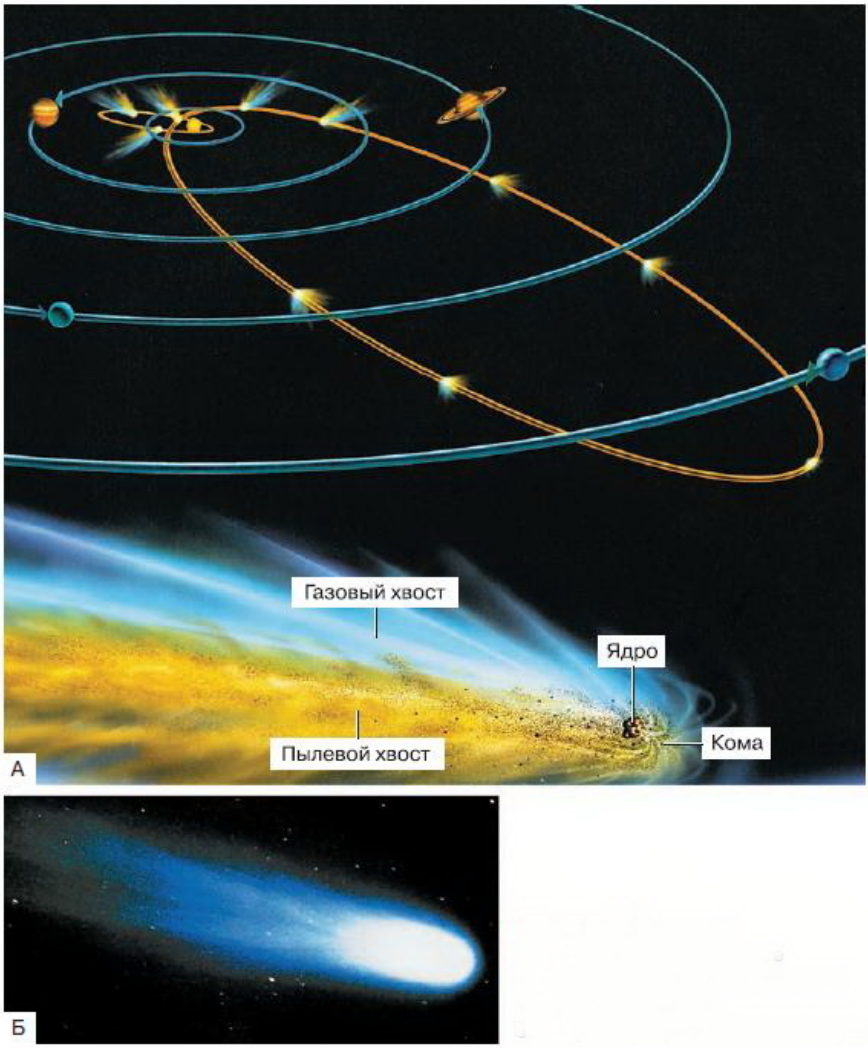


Рис. 175. Кометы:
А – орбиты комет Энке и аллея в Солнечной системе, строение кометы; Б – фотография кометы Галлея

Когда комета входит во внутреннюю область Солнечной системы, её ледяная поверхность испаряется и под действием солнечного излучения образует поток ионов, создавая длинный светящийся хвост (от греч. kometes – длинноволосый),

поперечником в несколько десятков тысяч и длиной до нескольких миллионов километров, часто видимый с Земли невооружённым глазом. Самой известной кометой является комета Галлея, которая названа в честь английского астронома **Эдмунда Галлея**, доказавшего, что кометы 1531, 1607 и 1682 гг. – это одна и та же комета, и предсказавшего её возвращение в 1759 г. С тех пор можно наблюдать её возвращение к Земле с периодами около 76 лет.

Метеоры и метеориты

В окрестностях нашей планеты существуют и совсем мелкие тела, которые, попадая в атмосферу, нагреваются вследствие трения об неё и сгорают. Такие тела называют ***метеорными телами,*** а свет, видимый при их сгорании, – ***метеором.*** Метеоры часто называют «падающими звёздами», а явления, при которых их наблюдается особенно много, – метеорными потоками или «звёздными дождями». Иногда среди метеоров попадаются особенно крупные, излучающие свет, соответствующий звезде 4-й величины. Такой метеор называют болидом. В тех случаях, когда метеорное тело настолько плотно и массивно, что не успевает целиком сгореть в атмосфере, а падает на поверхность Земли в виде твёрдого предмета, его называют ***метеоритом*** (рис. 176).

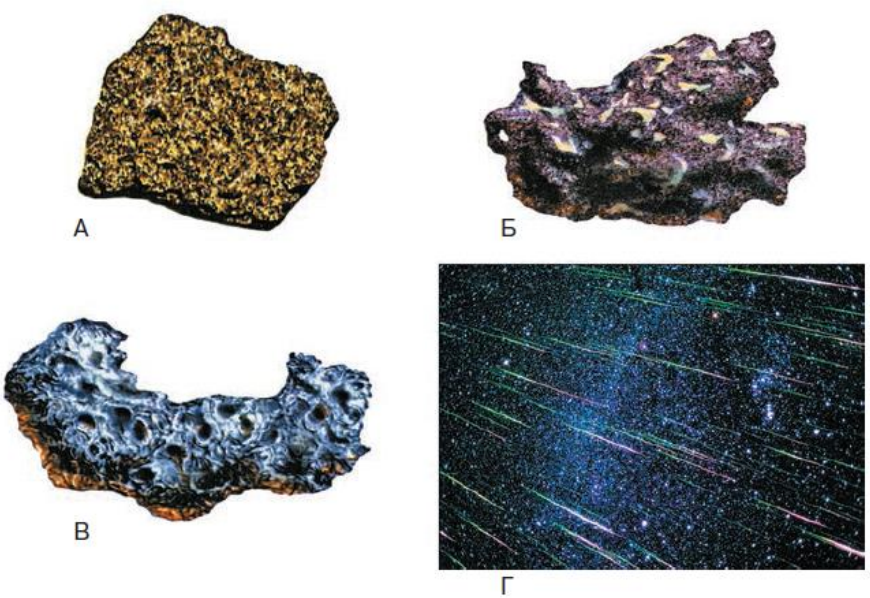


Рис. 176. Метеориты: А – каменный; Б – железокаменный; В – железный; Г – метеорный поток (метеоритный дождь)

Проверьте свои знания

1. Какая реакция является источником солнечной энергии?

2. Перечислите планеты Солнечной системы в порядке их удаления от Солнца.

3. Какая из планет Солнечной системы является самой большой? Во сколько раз её масса больше массы Земли?

4. Между орбитами каких планет находится пояс астероидов?

5. Из чего образуется хвост кометы?

Задания

1. Подготовьте сообщение или презентацию об астероидах и кометах, которые «посещали» околоземное пространство в XX–XXI вв.

2. Организуйте и проведите конференцию «Тунгусский метеорит: загадки и гипотезы».

§ 64 Звёзды, галактики, метагалактика

Полночных солнц к себе нас манят светы…
В колодцах труб пытливый тонет взгляд.
Алмазный бег вселенные стремят:
Системы звёзд, туманности, планеты,
От Альфы Пса до Веги и от Беты
Медведицы до трепетных Плеяд —
Они простор небесный бороздят,
Творя во тьме свершенья и обеты.
О, пыль миров! О, рой священных пчёл!
Я исследил, измерил, взвесил, счёл,
Дал имена, составил карты, сметы…

М. Волошин

Что такое звёзды?
Если спросят вас —
Отвечайте смело:
Раскалённый газ.
И ещё добавьте,
Что притом всегда
Ядерный реактор —
Каждая звезда!

Р. Алдонина

Наряду с Солнцем во Вселенной существует множество подобных ему тел, называемых звёздами. Все звёзды обладают очень высокой температурой из-за того, что внутри их происходят термоядерные реакции, т. е. такие реакции, в которых ядра лёгких элементов, находящихся в начале периодической таблицы, объединяются в ядра более тяжёлых элементов. Чаще всего это объединение ядер водорода с образованием гелия. При термоядерных реакциях выделяется огромное количество тепловой энергии, благодаря чему звёзды представляют собой раскалённые тела. Температура в недрах звёзд измеряется миллионами, а на их поверхности – тысячами градусов по шкале Кельвина. Как уже говорилось, температура поверхности звезды определяет её цвет. Самые горячие звёзды с температурой 30–60 тыс. ˚С мы видим как голубые. Звёзды с температурой около 10 тыс. ˚С воспринимаются как белые, а самые холодные, температура которых не более 5 тыс. ˚С, – как жёлто-оранжевые.

Звёзды образуются из разреженных облаков межзвёздного газа (рис. 177). Притягиваясь под влиянием силы тяготения, частицы газа, главным образом водорода, сближаются, и при этом гравитационная энергия переходит в тепловую. Когда температура достигает нескольких миллионов градусов, начинаются термоядерные реакции и сжатие прекращается.

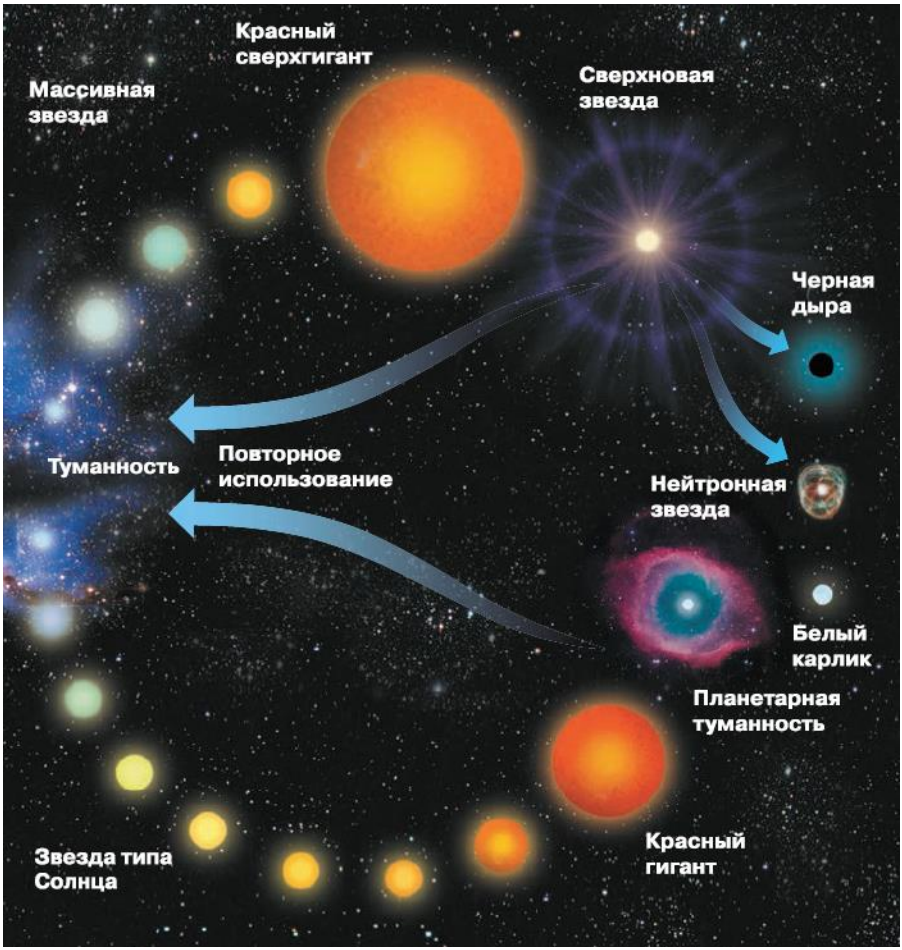


Рис. 177. Эволюция звёзд

В таком состоянии звезда пребывает в течение большей части своего существования. Затем запасы водорода в ядре звезды истощаются, и тогда термоядерный процесс продолжается уже на её периферии. Звезда увеличивается в размерах и постепенно остывает, превращаясь в ***красный гигант.*** После того как запасы водорода исчерпаются, начинаются термоядерные реакции с превращениями других элементов. Звезда начинает сжиматься и разогреваться, в результате чего она становится ***белым карликом.*** Когда же топливо для термоядерных реакций полностью закончится, силы гравитации, которым теперь уже ничто не противодействует, сожмут звезду настолько, что она станет совсем карликовым телом, но при этом обладающим огромной массой. Сила притяжения этой колоссальной массы настолько велика, что от неё не могут оторваться даже фотоны. Поэтому она не излучает и не отражает света и выглядит совершенно чёрной,

за что и называется ***чёрной дырой.*** Чёрными дырами могут становиться только большие двойные звёзды. Более мелкие звёзды остаются белыми карликами или становятся ***нейтронными звёздами***, которые состоят исключительно из нейтронов. После своего образования чёрная дыра может притягивать оказывающиеся поблизости мелкие тела и постепенно увеличивать свою массу и размеры. Попадание крупных космических тел в чёрную дыру маловероятно из-за её малых размеров и большой отдалённости от этих тел. В результате такого разрастания во Вселенной образуется большое количество чёрных дыр, одна из которых находится в центре нашей галактики.

Пульсары, квазары и сверхновые.

В результате сжатия звёзд могут образовываться космические объекты, которые до сих пор остаются в достаточной степени загадочными. Одним из таких объектов являются ***пульсары.*** Это маленькие, похожие на нейтронные, звёзды, излучение которых распространяется только в одном направлении узким пучком. Так как пульсары очень быстро вращаются, их излучение можно регистрировать через определённые периоды. Это излучение как бы пульсирует, откуда и произошло их название. Другим загадочным объектом Вселенной являются ***квазары*** (рис. 178) – относительно небольшие тела с невероятно сильным излучением, находящиеся от нас на удалении в несколько миллиардов световых лет. Несмотря на эти огромные расстояния, они заметны с Земли, благодаря исключительной интенсивности их электромагнитного излучения. Некоторые квазары, приблизительно равные по размеру Солнечной системе, излучают энергии больше, чем вся наша Галактика. Во Вселенной уже обнаружено более 200 тыс. квазаров, и астрономы постоянно открывают всё новые и новые.

Иногда звёзды заканчивают свою эволюцию не сжатием, а взрывом, сопровождаемым яркой вспышкой, после чего звезда превращается в рассеянное излучение и облако пыли и газа.

Рис. 178. Квазар

Такие звёзды называют *новыми* или, в случае очень яркой вспышки, ***сверхновыми*** (рис. 179). На самом деле они не являются действительно вновь образовавшимися – вспыхивают уже давно существующие звёзды. Но в некоторых случаях наблюдали вспышку ранее незаметных и неизвестных звёзд, что и стало причиной такого названия.

Галактики и метагалактика.

Звёзды во Вселенной распределены не равномерно, а объединяются в скопления, которые называют ***галактиками*** (рис. 180). Ошибочно думать, что видимые на небе созвездия являются скоплениями звёзд. Звёзды, которые мы видим на одном участке неба, на самом деле могут находиться на очень большом расстоянии друг от друга.

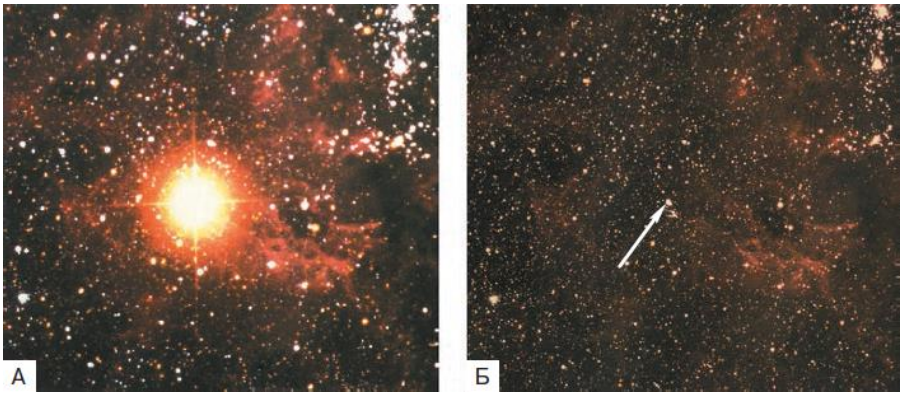


Рис. 179. Сверхновая ярко сияет в Большом Магеллановом облаке (А) на том месте, где прежде была лишь слабенькая звезда 12-й звёздной величины (Б, указана стрелкой)

Рис. 180. Спиральная галактика

Галактики представляют собой истинные скопления звёзд, разделённые межгалактическим пространством.

Солнечная система находится в галактике, которую называют ***Млечный Путь*** (рис. 181). Иногда её ещё называют Галактикой (с заглавной буквы). Млечный Путь – спиральная галактика, в которой находится больше 200 млрд звёзд. Она имеет диаметр около 100 тыс. световых лет и толщину несколько тысяч световых лет. С Земли Млечный Путь виден как клочковатая полоса звёзд,

напоминающая сгустки молока.

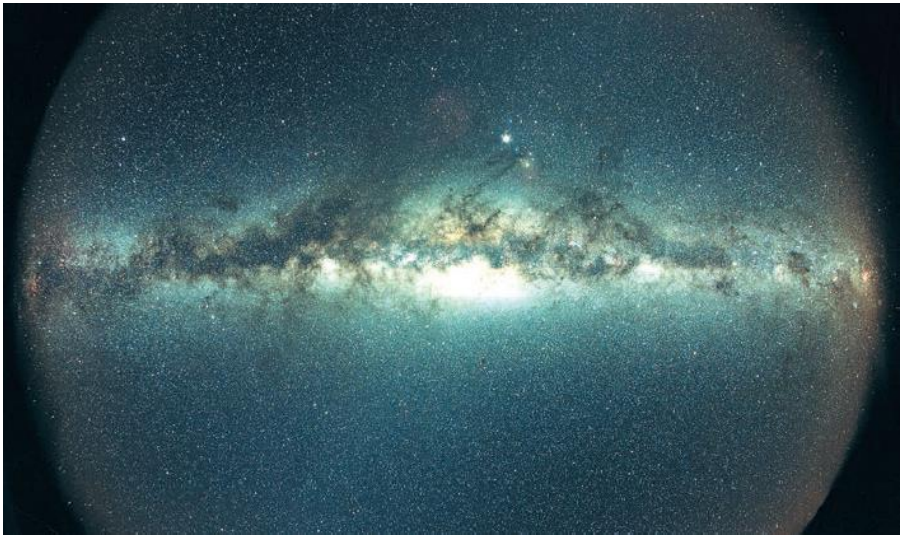


Рис. 181. Галактика Млечный Путь

Отсюда и произошло название «галактика», которое в переводе с греческого означает «молочное кольцо». Сначала Галактикой называли только Млечный Путь, а когда выяснили, что во Вселенной есть похожие на него звёздные скопления, их тоже стали именовать галактиками.

Другие галактики отдалены от Млечного Пути на очень большие расстояния, которые измеряют миллионами световых лет. Невооружённым глазом на небе можно увидеть всего три галактики: туманность Андромеды в Северном полушарии и Большое и Малое Магеллановы облака[17] – в Южном. Туманность, или, правильнее, галактика Андромеды, – одна из самых близких к нам галактик. Расстояние до неё составляет около 2,5 млн световых лет. Млечный Путь вместе с галактикой Андромеды, Магеллановыми облаками и ещё несколькими галактиками образует Местную группу галактик, которые взаимодействуют между собой и движутся вокруг общего центра. Различить отдельные звёзды во многих отдалённых галактиках удалось только после запуска космического телескопа «Хаббл». Галактики могут иметь самые разнообразные формы и размеры. Они могут быть эллиптическими, спиральными, могут иметь перемычку, а иногда обладают неправильной формой. Диаметр галактик колеблется в пределах от 16 до 180 тыс. световых лет. Все известные галактики образуют скопления, которые объединяют в метагалактику. ***Метагалактика*** – это вся наблюдаемая в настоящее время часть Вселенной, состоящая из

десятков миллиардов галактик. По мере того как совершенствуются средства изучения Вселенной, обнаруживается всё больше галактик и, следовательно, границы метагалактики расширяются.

Проверьте свои знания

1. В каких пределах может изменяться температура звёзд?

2. Какие процессы служат основой для образования чёрных дыр?

3. Что такое квазары? На каком расстоянии от Земли они находятся?

4. В какой галактике находится Солнечная система?

5. Что такое метагалактика?

Задания

1. Попробуйте в ясную тёмную ночь найти на небе Млечный Путь. Он выглядит как белёсая полоса, пересекающая звёздное небо.

2. Объясните, отражает ли реальную эволюцию звезды её название «новая» или «сверхновая».

§ 65 Возникновение и эволюция вселенной

Если бы открыл звезду я,
Я её назвал бы «Фридман»…
Фридман! До сих пор он житель
Лишь немногих книжных полок —
Математики любитель,
Молодой метеоролог
И военный авиатор
На германском фронте где-то…
Факт, что кое в чём пошёл он
Дальше самого Эйнштейна:
Чуя форм непостоянство
В этом мире-урагане,
Видел в кривизне пространства
Он Галактик разбеганье.
Расширение Вселенной?
В этом надо разобраться!..
Этот Фридман был учёным
С будущим весьма завидным.
О, блесни над небосклоном!..

Л. Мартынов

Расширение Вселенной

Вплоть до начала прошлого века существовало две точки зрения на происхождение Вселенной. Те учёные, кто придерживался естественно-научных взглядов на устройство мира, полагали, что Вселенная вечна и неизменна. Богословы же говорили, что Мир сотворён и у него будет конец. Двадцатый век, в значительной степени изменивший многие научные представления, позволил по– иному взглянуть и на происхождение Вселенной.

Вначале было обнаружено, что Вселенная не остаётся в неизменном виде, а постоянно расширяется. Согласиться с этим

положением, явно противоречащим привычным для научного сообщества представлениям, было непросто. Впервые гипотезу нестационарной Вселенной предложил в 1922 г. советский физик и математик **Александр Александрович Фридман** (1888–1925). Хотя Фридман в своих исследованиях опирался на теорию относительности, даже автор этой теории А. Эйнштейн не сразу согласился с его выводами. В 1912–1914 гг. американский астроном В. Слайфер обнаружил так называемое красное смещение галактик (рис. 182). Оно состояло в том, что спектр излучения далеких звёздных объектов оказался сдвинутым в длинноволновую (красную) сторону по сравнению с тем, каким он должен был быть на самом деле. Такое явление могло быть объяснено эффектом Доплера, о котором мы говорили в § 34, и в таком случае оно означало бы, что галактики от нас удаляются.

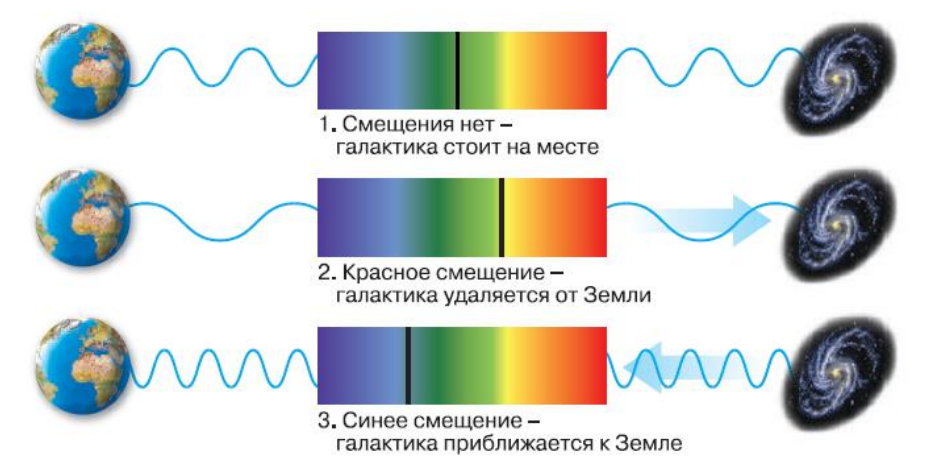


Рис. 182. Смещение галактик

В 1929 г. американский астроном **Эдвин Хаббл** (1889–1953) обнаружил, что для далёких галактик красное смещение оказывается большим, чем для близких, т. е. дальние галактики кажутся «краснее», чем близкие. При этом степень «покраснения» возрастает приблизительно пропорционально расстоянию (закон красного смещения, или закон Хаббла). Значит, галактики, а точнее скопления галактик, разбегаются, и скорость этого разбегания тем больше, чем дальше они находятся. Это не означает, что галактики удаляются именно от Земли, т. е. что Земля является центром Вселенной. Точно такое же разбегание можно было бы увидеть из любой точки метагалактики, т. е. «все бегут от всех». Это можно легко себе представить, если нанести на надувной шарик какие– либо отметины. При надувании шарика все они будут удаляться друг от друга.

Но если это так, то расширение Вселенной должно иметь начало, т. е. было время, когда вся она была сосредоточена в одной точке. Эти рассуждения привели к возникновению гипотезы ***Большого взрыва.*** Расчёты показывают, что Большой взрыв произошёл 15–20 млрд лет назад. На вопросы о том, почему он произошёл и что было до него, точного ответа нет. Современная физика может лишь с достаточной уверенностью сказать, что происходило через некоторое время после начала рождения Вселенной. Тем не менее это «некоторое время» нельзя назвать продолжительным – оно составляет 10^{-43} секунды. Это такая доля секунды, где после нуля с запятой надо написать сорок два нуля, пока не появится значащая цифра. В это время будущая Вселенная представляла собой так называемую ***сингулярную точку,*** которая при ничтожных размерах содержала в себе всю энергию, которая сейчас распределена по Вселенной. Температура, которую имела эта точка, выражается тридцатидвухзначным числом. Вскоре, т. е. примерно через одну стомиллионную долю секунды, Вселенная стала расширяться, появились кварки, а затем и элементарные частицы. В это же время происходило снижение её температуры и возникли известные нам теперь четыре фундаментальных взаимодействия, которые раньше представляли собой единое целое. После этого начались термоядерные реакции, при которых протоны стали объединяться в ядра гелия[18]. На этом этапе скорость эволюции Вселенной сильно замедлилась, и потребовалось несколько сот тысяч лет для того, чтобы возникли атомы с их электронными оболочками. В это время Вселенная наполнилась излучением, которое путешествует по ней до нашего времени. Оно называется *реликтовым излучением* и служит одним из доказательств теории Большого взрыва.

Расширение Вселенной, начавшееся с сингулярной точки, продолжается и в наше время. Самой интересной его особенностью, является то, что галактики разбегаются не замедленно (что должно было быть, если бы их движение тормозила сила взаимного притяжения), а, наоборот, ускоренно, как если бы их продолжала толкать какая-то сила. Для объяснения этого загадочного факта физикам пришлось ввести понятие «тёмной энергии», которая и расталкивает галактики. Сущность этой энергии остаётся ещё не вполне ясной.

Существуют и другие вопросы, связанные с Большим взрывом, на которые пока нет ответа. Например, почему в результате этого взрыва образовалось вещество, а не

антивещество? По всем своим физическим и химическим свойствам оно ничем не отличается от нашего вещества, однако никогда не может вступить с ним в контакт. Если такое произойдёт, то все частицы, соединяясь со своими античастицами, аннигилируют и превратятся в кванты гамма-излучения. Если бы во время Большого взрыва образовались равные количества вещества и антивещества, они бы тут же аннигилировали и никакой Вселенной бы не существовало. Одним из возможных ответов на этот вопрос может быть гипотеза, согласно которой в начальный момент существования Вселенной вещества, так же как и антивещества, было *очень много.* Но случайно вещества оказалось несколько больше, чем антивещества. Всё антивещество аннигилировало, а то, что осталось от вещества, образует нашу Вселенную.

Ещё одна не вполне решённая проблема заключается в том, что основные физические константы и величины, такие как скорость света, гравитационная постоянная, постоянная Планка, массы электрона и протона, единичный заряд электрона, соотносятся между собой именно таким образом, чтобы Вселенная могла существовать. Если бы существующее соотношение хотя бы немного нарушилось, не могли бы существовать даже химические элементы, а тем более звёзды и галактики[19], и уж совсем невероятным было бы появление жизни и разумного наблюдателя, который мог бы всё это узнать. Почему же образовалось именно такое соотношение величин, а не какое-либо иное? Существующие ответы на этот вопрос можно свести к двум вариантам.

Антропный принцип: сильный или слабый.

Сторонники «теории разумного замысла» утверждают, что вероятность возникновения такого сочетания физических величин слишком мала для того, чтобы его можно было считать случайным, а следовательно, Вселенная была создана сознательно по какому-то первоначальному Замыслу. Такая точка зрения приводит к выдвижению ***Сильного (или Большого) антропного принципа:***

> *Вселенная должна иметь свойства, позволяющие развиться разумной жизни.*

Противники этой теории настаивают на случайности такого набора физических величин и, в частности, утверждают, что наша Вселенная не является единственной. Существуют другие миры,

где соотношение этих констант совсем иное, а следовательно, там не существует разумных наблюдателей. Они выдвигают ***Слабый (Малый) антропный принцип:***

> *во Вселенной встречаются разные значения мировых констант, но наблюдение возможно только в тех из них, где эти значения приводят к появлению наблюдателя.*

(Мир, в котором мы живём, – это мир, в котором живём мы). В настоящее время ни одна из этих точек зрения не может быть ни опровергнута, ни доказана научным путём.

Возникновение галактик, Солнечной системы и Земли

Через 1–2 млрд лет после Большого взрыва возникли галактики, а ещё приблизительно через 8 млрд лет появилась Солнечная система, возраст которой, таким образом, насчитывает около 5 млрд лет. Скорее всего, Солнце образовалось благодаря сгущению гигантского облака пыли и газа, так называемой солнечной туманности (рис. 183). Центральная часть туманности образовала Солнце, которое из-за колоссального сжатия, вызванного силой притяжения между частицами, стало уменьшаться в размерах и одновременно сильно нагреваться. Энергия сжатия настолько повысила температуру Солнца, что в нём стали возможны термоядерные реакции, которые, в свою очередь, ещё больше его раскаляли.

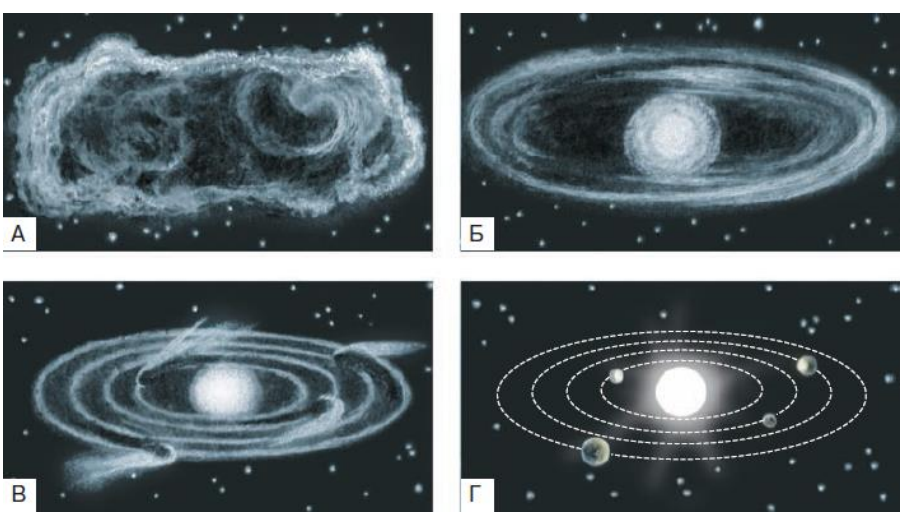


Рис. 183. Возникновение Солнечной системы: А – разреженный межзвездный газ стал собираться в облако; Б –

вещество уплотнилось и превратилось в кольца, вращающиеся вокруг центра; В – в центре образовался газовый шар, в котором началась термоядерная реакция; Г – из газовых колец возникли планеты

Из других частей туманности возникли сгустки, которые потом стали планетами. Один из таких сгустков стал Землёй. На Земле происходили примерно те же процессы, что и на Солнце, только в гораздо меньших масштабах. Вначале температура её была настолько велика, что она представляла собой раскалённый жидкий шар. В результате этого более лёгкие соединения кремния оказались на поверхности планеты, а более тяжёлые металлы сосредоточились в её ядре. Приблизительно через миллиард лет Земля остыла, и кремниевые соединения затвердели, образовав породы земной коры. При остывании Земли выделялось много различных газов, самые тяжёлые из которых остались у поверхности планеты, образовав её атмосферу. В атмосфере присутствовали также водяные пары. Когда температура Земли стала ниже 100 ˚С, пары сконденсировались и образовали моря и океаны.

Проверьте свои знания

1. Что такое красное смещение галактик? С помощью какого физического эффекта можно его объяснить?

2. Когда по современным представлениям произошёл Большой взрыв?

3. Через какое время после Большого взрыва возникли атомы?

4. Что такое Сильный и Слабый антропные принципы?

§ 66 Скорость света

Ибо, смотрите, простая ракета
Мчится почти что со скоростью звука,
Но ведь и это
Нехитрая штука.
Это
Почти неподвижности мука —
Мчаться куда-то со скоростью звука,
Зная прекрасно, что есть уже где-то
Некто,
Летящий
Со скоростью
Света!

Л. Мартынов

Рассматривая в предыдущих главах природу света, мы не обратили внимания на одну очень важную его характеристику, а именно скорость, с которой он распространяется. Однако эта величина имеет огромное значение для понимания законов природы.

Измерение скорости света.

Подавляющее большинство античных учёных считали, что скорость света бесконечна. В дальнейшем это положение стали подвергать сомнению. Впервые вопрос об измерении скорости света поставил Галилей, однако существующие тогда способы измерения и их точность не позволяли проверить его предположение с помощью эксперимента. Многие учёные того времени, такие как Декарт и Кеплер, продолжали настаивать на бесконечной скорости распространения света.

Впервые приблизительно оценить скорость света удалось в 1676 г. датскому астроному **Олафу Рёмеру**. Он пытался объяснить непонятное явление, которое заключалось в том, что в

те периоды, когда Юпитер находится на большом расстоянии от Земли, его спутники обращаются вокруг него медленнее, чем тогда, когда он приближается к Земле. Но время обращения спутников Юпитера не может зависеть от его расстояния до Земли. Рёмер предположил, что эта нерегулярность связана с конечной скоростью распространения света, которому требуется различное время для преодоления больших и малых расстояний. Ему удалось рассчитать скорость света, которая, как впоследствии оказалось, довольно близка к истинной. Эта точка зрения вначале вызвала резкие возражения со стороны последователей Декарта, но спустя полвека была подтверждена в более точных наблюдениях и с тех пор получила всеобщее признание.

В середине XIX в. удалось измерить скорость света в земных условиях. При этом оказалось, что она зависит от того, в какой среде свет распространяется. Так, скорость света в воде составляет $^3/_4$ от его скорости в воздухе. С наибольшей скоростью свет распространяется в вакууме, где она по современным измерениям составляет 299 792 458 м/с, или округлённо 300 тыс. км в секунду. Несмотря на то что эта скорость очень велика, она всё же не бесконечна. От Солнца до Земли свет идёт около восьми минут, так что если Солнце внезапно потухнет, то мы узнаем об этом не сразу, а только через восемь минут. В предыдущем параграфе мы говорили о том, что существуют звёзды и галактики, отстоящие от Земли на миллионы и даже на миллиарды световых лет. Это значит, что только сейчас до нас дошёл свет, который они испустили миллионы лет назад. Мы видим их не такими, какие они сейчас, а такими, какими они были очень давно. Если, например, астрономы обнаружили вспышку сверхновой звезды, отстоящей от нас на сто миллионов лет, то это значит, что вспышка произошла сто миллионов лет назад.

Вскоре удалось показать, что скорость света не зависит от скорости того источника, из которого этот свет был испущен. Приведём пример. Если орудие, установленное на движущемся танке, выстрелит одновременно с точно таким же неподвижным орудием, то танковый снаряд полетит быстрее, так как скорость его вылета сложится со скоростью танка. Если же они одновременно зажгут прожекторы, то скорости обоих лучей не будут различаться. Ранее мы говорили о том, что со времён Гюйгенса общепринятым было мнение, что эти колебания происходят в особой среде – эфире, который иногда называли также светоносным эфиром. Эфир заполняет всю Вселенную, проникая во все материальные тела, и заполняет даже

абсолютный вакуум. Он неподвижен, а все предметы проходят сквозь него подобно ситу, движущемуся в воде.

Здесь напрашивается сравнение со звуком. Представьте себе, что воздух, в котором распространяется звук, неподвижен (т. е. погода безветренная), а через него едет открытый автомобиль. Пассажиры автомобиля ощущают сильный ветер, дующий им навстречу. Из-за этого скорость звука в направлении от заднего сиденья к переднему будет меньше обычной, а в направлении от переднего сиденья к заднему – больше обычной. Пассажир на заднем сиденье легко расслышит слова водителя, но водитель с трудом услышит слова, сказанные пассажиром. Физики XIX столетия были уверены в том, что эфир должен вести себя точно так же, как и воздух, навстречу движущейся вокруг Солнца Земле должен дуть «эфирный ветер», который увеличивает или уменьшает скорость света в зависимости от направления, в котором этот свет распространяется. Измерив разницу между скоростью света, движущегося в восточном и западном направлении, можно определить скорость движения Земли относительно неподвижного эфира, её абсолютную скорость.

Опыты Майкельсона и Морли.

Такое измерение в 1881 г. провёл американский физик **Альберт Майкельсон** (1852–1931) с помощью сконструированного им прибора. Результат был поразительным. К своему величайшему удивлению, ни в одном направлении компаса он не обнаружил разницы в скорости, с которой свет проходил определённые расстояния. Это было похоже на то, как если бы пассажиры движущегося автомобиля не замечали дующего им в лицо встречного ветра. Большинство физиков отказались верить результатам опыта Майкельсона, впрочем, он и сам им не очень доверял, поскольку используемый им прибор не обладал очень высокой точностью. Однако, не обнаружив ошибок в своём опыте, он старался повторить его. Вскоре он познакомился с профессором химии одного американского университета **Эдвардом Морли** (1839–1923), и оба исследователя приступили к совместным экспериментам. В 1887 г. они провели знаменитый эксперимент Майкельсона – Морли, ставший одной из поворотных точек физики.

Прибор представлял собой систему зеркал, направлявшую световой пучок в определённом направлении. Лучи света отражались от зеркал, так что свет двигался несколько раз туда и обратно. Это было сделано для того, чтобы удлинить путь

пробега. В то же время другая система зеркал точно так же заставляла пучок света пробегать в направлении, перпендикуляром первому. Предполагалось, что, когда прибор будет повёрнут так, что один из пучков будет пробегать туда и обратно параллельно эфирному ветру, а другой – в перпендикулярном ему направлении, время, за которое они будут проходить одинаковые расстояния, будет различным. Но результаты снова поразили и самих исследователей, и всех физиков в мире. Несмотря на то что Майкельсон и Морли поворачивали свой прибор, они не обнаружили и следа эфирного ветра. Такой результат невозможно было объяснить в рамках физики того времени. Впоследствии Майкельсон и Морли, а также и другие экспериментаторы многократно повторяли опыт, но эфирного ветра так и не было обнаружено.

Такие результаты требовали объяснения. Проще всего было бы предположить, что Земля неподвижна, но в XIX в. в это уже никто не мог поверить. Наилучшим объяснением была теория, утверждающая, что эфир увлекается Землёй подобно воздуху в закрытом автомобиле. Но другие опыты опровергли такое объяснение. Лучший выход из этого запутанного положения нашёл Альберт Эйнштейн, создавший теорию относительности.

Проверьте свои знания

1. Как называлась среда, в которой, как предполагали физики до конца XIX в., распространяется свет?

2. Сравните распространение света и звука. В чём их сходство и отличия?

3. В чём состояло открытие Майкельсона и Морли?

4. Какие гипотезы предлагали учёные для объяснения результатов экспериментов Майкельсона – Морли?

§ 67 Основы теории относительности

«Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон…»
Но сатана недолго ждал реванша:
Пришёл Эйнштейн – и стало всё, как раньше.

Пародия на стихи А. Поупа

В работе, опубликованной в 1905 г., Эйнштейн сделал очень важное заключение. Он утверждал, что причина, по которой Майкельсон и Морли не могли наблюдать эфирный ветер, в том, что эфирного ветра нет.

Как мы знаем, классическая физика Галилея и Ньютона утверждает, что если вы находитесь внутри равномерно движущегося тела, скажем в вагоне поезда, и при этом не видите окружающий пейзаж, то не существует такого механического эксперимента, с помощью которого вы могли бы доказать, что движетесь. Если вы подбросите шарик прямо вверх, он упадёт прямо вниз. Всё происходит точно так же, как если бы поезд стоял. В то же время наблюдатель, стоящий на земле около вагона, если бы он умел видеть сквозь стены, увидел бы путь шарика кривым. По отношению к нему шарик опускался бы не в той же точке, откуда взлетал.

Теория относительности – это шаг вперед от физики Галилея–Ньютона. Она утверждает, что равномерное движение невозможно обнаружить не только с помощью механического измерения, но также и с помощью оптического измерения, т. е. измерения путём наблюдения электромагнитного излучения. Другими словами, если вы даже видите пробегающий за окном пейзаж, вы не сможете установить (конечно, если поезд движется абсолютно равномерно), что же именно движется – поезд или Земля.

Часто приходится слышать, что теория относительности утверждает, что всё в мире относительно, что она разрушает все абсолюты. Это утверждение совершенно неверно. В теории относительности есть по крайней мере одна абсолютная величина – ***скорость света в вакууме.*** В уравнениях её обозначают

латинской буквой с. В классической физике скорость света должна была меняться в зависимости от движения наблюдателя. Но в опытах Майкельсона и Морли это положение было опровергнуто – скорость света была постоянной, независимо от того, был ли свет направлен вдоль или поперёк вращения Земли. Значит, неважно, как движется источник света или наблюдатель, скорость света по отношению к наблюдателю не меняется. Представим себе, что космонавт летит в космическом корабле вдоль светового луча со скоростью, равной половине скорости света. Измерения покажут, что свет относительно него всё равно движется со скоростью 300 000 км/с. Если бы свет двигался медленнее, то это означало бы, что навстречу движения корабля дует тот самый эфирный ветер, который обнаружить не удалось. А что будет, если космонавт движется по направлению к источнику света? Казалось бы, что свет приближается к нему в полтора раза быстрее. На самом деле свет всё равно движется к нему со скоростью 300 000 км/с.

Относительность одновременности.

Чтобы объяснить теорию относительности, Эйнштейн предложил мысленный эксперимент. Представим себе двух наблюдателей *A* и *B*, первый из которых стоит около железнодорожного пути, а второй движется по этому пути в очень быстром поезде[20](рис. 184). На равном расстоянии от наблюдателя *A* по направлению движения поезда и против него находятся точки *X* и *Y*. В тот момент, когда наблюдатель *B*, т. е. пассажир, окажется рядом с наблюдателем *A*, в точках *X* и *Y* одновременно вспыхивает молния. Стоящий на месте увидит эти вспышки в одно и то же мгновение и будет считать, что они одновременны. Но пассажир движется навстречу точке *X* и удаляется от *Y*, поэтому он увидит вспышку в *X* несколько раньше, чем в *Y*. Если пассажир знает, что он движется таким образом, то он учтёт эту разницу и согласится с тем, что молнии ударили одновременно. Но как он может это выяснить? С таким же правом можно предположить, что поезд покоится, а Земля под его колёсами бежит назад.

Таким образом, приходится заключить, что на вопрос о том, были ли вспышки одновременными, нельзя ответить однозначно: всё зависит от выбора системы отсчёта. Конечно, если два события одновременно происходят в одной и той же точке, они, безусловно, одновременны. Но чем больше расстояние между событиями, тем труднее решить вопрос об их одновременности. И

дело не в том, что мы не способны установить истинную одновременность, а в том, что этой истинной одновременности не существует.

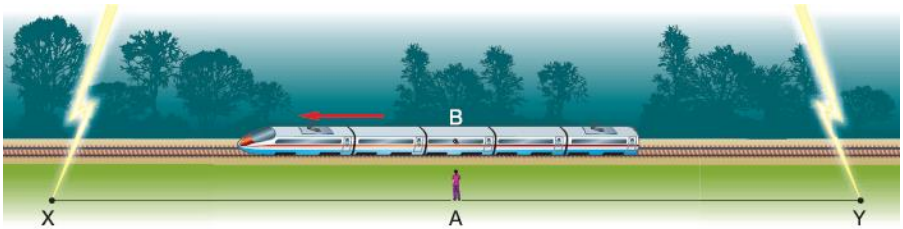


Рис. 184. Мысленный эксперимент, предложенный Эйнштейном (относительность одновременности)

Во Вселенной нет абсолютного времени, в котором такая одновременность может быть измерена.

Относительность времени.

Вместе с относительностью одновременности стали относительными и другие физические понятия. Время стало относительным, поскольку нет возможности установить, сколько его прошло между одними и теми же событиями. Для того чтобы разобраться в этом, представим себе пассажира, который направляет на зеркальный потолок луч от фонарика. Отразившись от потолка, этот луч вернётся вниз в ту же точку, из которой он вышел, и таким образом пройдёт расстояние, равное двойной высоте вагона. Но наблюдатель, стоящий на перроне, увидит другую картину. За то время, что луч света пройдёт от фонарика до зеркала, само зеркало вследствие движения поезда переместится. Пока луч будет возвращаться, фонарик переместится ещё на такое же расстояние. Таким образом, для наблюдателя на платформе свет пройдёт большее расстояние, чем для наблюдателей в поезде. Но ведь скорость света абсолютна, она одинакова и для пассажиров, и для людей, стоящих на перроне. По этой причине можно сделать вывод, что между отправлением и возвращением света на перроне прошло больше времени, чем в поезде. Само собой разумеется, что находящиеся в поезде пассажиры будут думать наоборот. Ведь они могут считать, что находятся в покое, а перрон едет мимо них. С их точки зрения, перронные часы будут показывать большее время по сравнению с теми часами, которые находятся в поезде. Каждый наблюдатель будет думать, что любые движущиеся относительно него часы спешат.

Относительность расстояния.

Посмотрим теперь, что происходит при таких высоких скоростях с пространством. Представьте себе, что поезд Эйнштейна проносится мимо перрона, имеющего длину 2 400 000 км (рис. 185). Если он движется со скоростью 240 000 км/с, то по показаниям станционных часов голова поезда проскочит этот перрон за 10 с. Но по часам пассажиров поезд пройдёт перрон за меньшее время, скажем, за 6 с. Значит, при той же скорости длина перрона будет уже не 2 400 000 км, а 240 000 • 6 = 1 440 000 км. Точно так же и длина самого поезда для сидящих в нём пассажиров будет больше, чем для стоящих на перроне наблюдателей. Если разобраться, то в этом нет ничего удивительного. Мы ведь знаем, что, если два человека смотрят друг на друга с большого расстояния, то каждому из них кажется, что другой меньше его, хотя на самом деле они могут быть одного роста.

Относительность массы

Теория относительности доказывает также, что и масса тела, с точки зрения движущегося относительно неё наблюдателя, кажется большей, чем для наблюдателя, неподвижного по отношению к ней. Такую увеличенную массу называют ***релятивистской*** (от лат. relativus – относительный).

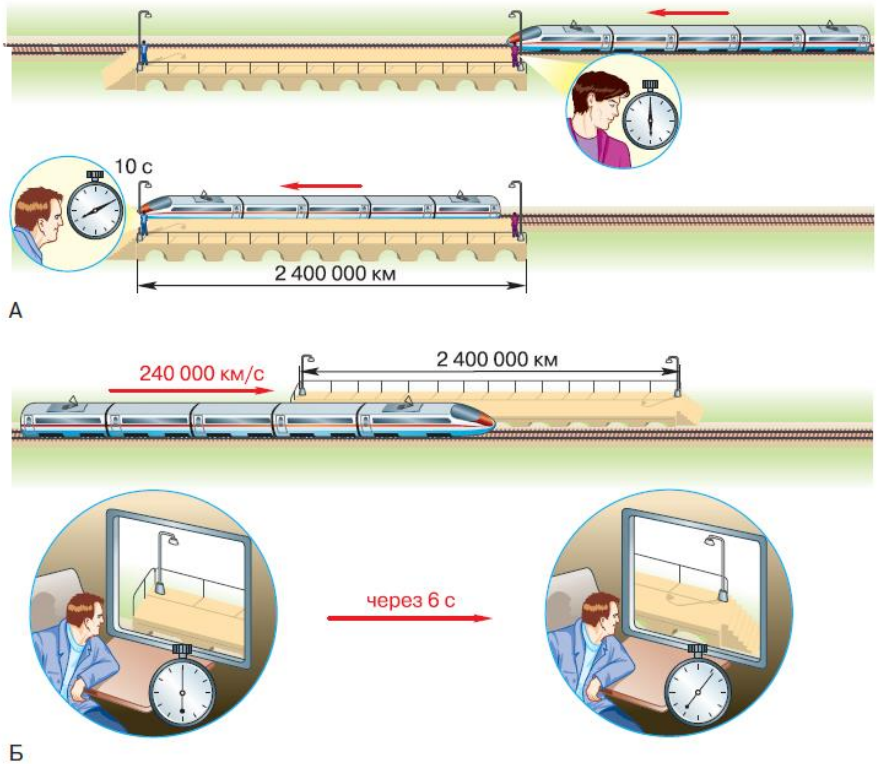


Рис. 185. Относительность расстояния: А – наблюдатели на перроне; Б – пассажир в поезде

В противоположность ей массу, измеренную относительно неподвижного наблюдателя, называют ***массой покоя.*** Поскольку все элементарные частицы движутся, как правило, с очень большой скоростью, их релятивистская масса обычно оказывается значительно больше их массы покоя. Фотон же вообще не имеет массы покоя, он всегда движется со скоростью света (или, в случае если свет распространяется не в вакууме, достаточно близкой к ней).

Скорость света – предельная скорость во Вселенной.

Из теории относительности также следует, что ничто в мире не может двигаться со скоростью, большей, чем скорость света. Если какой-либо объект будет двигаться со скоростью света, его длина будет восприниматься со стороны как нулевая, время на нём– остановившимся, а масса – бесконечно большой. При этом наблюдатели, находящиеся на этом объекте, никаких изменений не заметят. Поэтому все рассуждения о том, что произойдёт с

космическим кораблём, если он будет лететь со сверхсветовой скоростью, следует оставить писателям-фантас там.

Теория относительности и повседневная жизнь

Таким образом, теория относительности вносит поправки в классическую механику Ньютона. Из этого ни в коем случае не следует, что эту механику надо отбросить. Поправки теории относительности, или, как их называют, релятивистские поправки, практически абсолютно незаметны при тех скоростях, с которыми мы сталкиваемся в реальной жизни. Поэтому в повседневной жизни мы вполне можем обходиться классической механикой, а релятивистские поправки учитывать только при исследовании либо макромира с его огромными скоростями и расстояниями, либо микромира, где расстояния весьма невелики, но скорости часто бывают огромными.

Всё, о чём здесь было рассказано, относится к ***специальной*** теории относительности. Существует ещё ***общая*** теория относительности, разработанная Эйнштейном позже. Она затрагивает вопросы геометрии Вселенной и её связь с гравитацией. Её мы в этом учебнике рассматривать не будем.

Проверьте свои знания

1. Какая физическая величина считается абсолютной в теории относительности?

2. Какие физические величины по-разному оцениваются наблюдателями, движущимися относительно друг друга?

3. Почему в повседневной жизни при физических и инженерных расчётах не используют релятивистские поправки?

Задания

1. Подумайте, будут ли часы идти медленнее в летящем космическом корабле.

2. Рассчитайте, с какой скоростью должен лететь космический корабль, чтобы космонавт на его борту смог встретить начало четвёртого тысячелетия по земному летоисчислению.

3. Если в результате расширения Вселенной всё вещество когда– нибудь распадётся и будут существовать только световые

частицы, будет ли это означать конец времени? Обсудите это в классе. Выскажите свою точку зрения и объясните её.

Ваша будущая профессия

1. Какие профессии появились в XX–XXI вв. в связи с исследованием космоса?

2. Используя материал сайта http://www.gctc.ru (Научно-исследовательский центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина), сделайте стендовый доклад о подготовке космонавтов. (Предварительно распределите с одноклассниками темы.) Из полученных стендовых докладов организуйте школьную выставку, приуроченную к Дню космонавтики.

3. Космонавтом или астронавтом называют человека, проводящего испытания или эксплуатацию космической техники в космическом полёте. Однако понятие космического полёта в разных странах различно. Поэтому общее число космонавтов в мире может отличаться от источника к источнику. Используя дополнительные источники информации, выясните, какие критерии космического полёта существуют в Международной федерации аэронавтики, в России и в других странах.

Системы и их исследования

§ 68 Хаос и закономерность

Наблюдая за всем, что происходит в окружающем нас мире, мы обнаруживаем в нём некоторые закономерности, позволяющие нам ориентироваться в пространстве и во времени. Первое означает, что мы можем прийти в желаемое место или найти нужный в данный момент предмет. Второе выражается в том, чтобы предсказывать будущее, например природные явления, последствия своих и чужих поступков и т. п. Сочетание таких закономерностей мы называем ***порядком***. Если же найти нужное место или предсказать наступление событий затруднительно, мы говорим, что в данной обстановке или ситуации наблюдается ***беспорядок.*** Крайнюю степень беспорядка называют ***хаосом.*** Слово это взято из древнегреческой мифологии, где оно означало разверзнувшуюся бездну, беспредельную массу, из которой образовалось всё существующее. В современном понимании хаос обозначает беспорядок и неразбериху (рис. 186).

В этой главе нас будет интересовать вопрос о том, где и как в природе проявляется хаос и закономерность, возможно ли установить границу между ними и каким образом можно измерить степень порядка или, наоборот, хаоса. Начнём с того, что строго определить степень хаоса или порядка в тех случаях, когда речь идёт о человеческих поступках, часто бывает затруднительно. Представим себе, что для оформления библиотеки пригласили дизайнера. Тот оказался педантом и расставил книги в строгом порядке, т. е. расположил их по цветам корешков, а в пределах цветов ещё и по размеру. Получилось очень аккуратно, но вряд ли такой порядок устроит библиотекарей, им будет практически невозможно найти требуемую книгу. То, что оформителю кажется порядком, для пользователя будет полным хаосом. Говорят, что один профессор чуть не умер от сердечного приступа, когда уборщица, увидев жуткий «беспорядок» на его письменном столе, привела все книги и бумаги в идеальный «порядок», разложив их по аккуратным стопкам.

После этого профессор несколько дней не мог приступить к работе, поскольку был не в состоянии найти нужного материала. Ещё один пример: речь на незнакомом языке кажется нам хаотическим набором звуков, в то время как владеющий языком человек найдёт в ней строгий порядок и логику.

Поэтому мы пока не будем говорить о порядке и хаосе в индивидуальном человеческом восприятии, а познакомимся с тем, как эти понятия используют в науке, где они присутствуют в объективных природных явлениях, могут быть измерены и могут стать достоянием всего человечества.

Понятия порядка и хаоса тесно связаны с понятиями предопределённости и случайности. Порядок всегда связан с предопределённостью: чем больше порядка, тем больше вероятность обнаружить требующийся предмет или предсказать некое событие. Если же мы не имеем никаких представлений о стратегии этого поиска, то обнаружить или предсказать что-то можно только случайно, как говорится, «методом тыка». И здесь возникает принципиальный вопрос, волнующий мыслящих людей в течение многих веков: «Существуют ли в природе случайные процессы или случайным кажется нам только то, что мы не в состоянии пронаблюдать или измерить?»

Детерминизм.

После триумфального признания открытых Ньютоном законов механики казалось, что этот вопрос окончательно решён в пользу всеобщей предопределённости. Считалось, что в природе не существует случайных процессов, всё в мире предопределено или, выражаясь научным языком, детерминировано. Такая система взглядов носит название *детерминизма* (от лат. determino

– определяю). Одним из наиболее ярких сторонников детерминизма был французский математик, физик и философ **Пьер Симон Лаплас** (1749–1827). Детерминизм строился на простом и кажущемся очевидным положении.

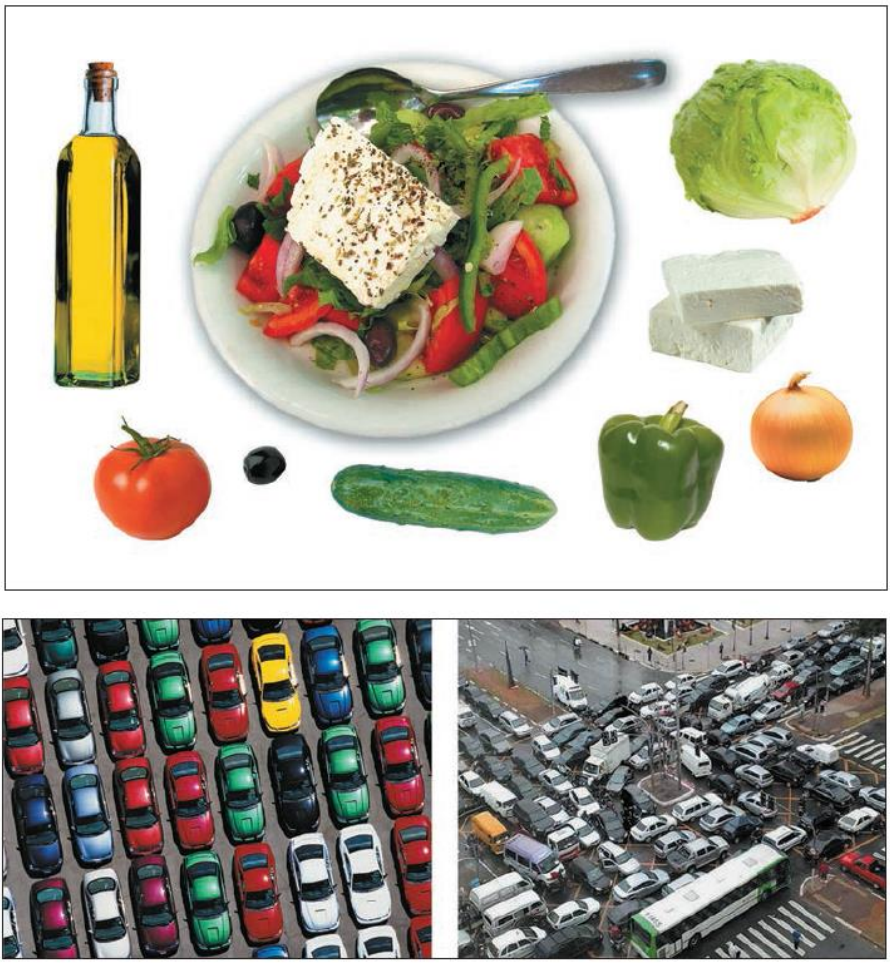


Рис. 186. Хаос и порядок

Если весь существующий мир состоит из атомов, движение которых полностью описывается законами Ньютона, то в любой момент это движение строго предопределено, и можно абсолютно точно сказать, где этот атом окажется через любой промежуток времени. А поскольку все происходящие в мире процессы являются не чем иным, как движением атомов, то всё будущее этого мира абсолютно предсказуемо. Более того, абсолютно ясным становится и прошлое, так как любое положение атома однозначно определяется его предыдущим положениям, а значит, двигаясь назад по цепочке событий, можно узнать всё прошлое

Вселенной. Последователи Лапласа иллюстрировали его взгляды, вообразив мифическое существо, названное «демоном Лапласа». Если это существо знает положение и скорости движения всех частиц во Вселенной в данный момент и способно производить сразу огромное количество расчётов, то оно может знать все события, которые когда-либо произойдут во Вселенной, так же как и те, которые произошли в ней сколь угодно давно.

Из принципа детерминизма следовало, что время имеет обратимый характер: если в какой-то момент все атомы в мире поменяют направление, то все процессы должны пойти вспять, как на прокручиваемой в обратном направлении плёнке. Причём это произойдёт не только с физическими, но и с психическими и социальными процессами, так как, по мнению детерминистов, поведение человека полностью определяется движением атомов в его мозгу, а следовательно, полностью подчиняется законам механики.

Статистические закономерности.

Последующее развитие науки показало, что эта точка зрения неверна: случайность не является следствием недостатка наших знаний, а объективно существует в природе. Однако, даже если согласиться с точкой зрения детерминистов, понятно, что «демона Лапласа» не существует и предсказать траектории движения всех атомов вряд ли когда-нибудь удастся. Следует ли из этого, что невозможно найти какие-либо закономерности в поведении тех объектов, которые мы не можем непосредственно наблюдать? Можно ли сказать, что движения невидимых атомов и молекул абсолютно непредсказуемы, т. е. хаотичны? Разумеется, нет! Дело в том, что поведение таких ненаблюдаемых объектов во многих случаях подчиняется ***статистическим закономерностям***. Мы не можем предсказать, как будет двигаться каждый конкретный объект, но мы можем предвидеть, как поведёт себя всё множество объектов в целом. Предположим, что в помещении включили вентилятор. Мы никогда не будем знать, с какой скоростью и в каком направлении полетит каждая молекула воздуха. Однако можно точно рассчитать, с какой скоростью при этом двинется воздушный поток, как будет зависеть эта скорость от скорости вращения вентилятора, а та, в свою очередь, от мощности мотора. Мы не знаем, какая температура воздуха будет в Москве 1 июля следующего года, но можем почти с полной уверенностью сказать, что она будет выше, чем 1 января.

Статистические закономерности являются такими же полноправными закономерностями, как и механические. На основе таких закономерностей можно установить строгие физические законы, объясняющие, например, электрические явления или состояния газов при определённых условиях. Несмотря на то что мы не можем непосредственно наблюдать электроны или молекулы газов, мы можем с абсолютной точностью предсказать, сколько их *в среднем* будет двигаться в определённом направлении или находиться в определённом объёме. Статистические закономерности в полной мере можно обнаружить в социально-экономических процессах, связанных с человеческим поведением, так как, по известному литературному выражению, «статистика знает всё». Если изменится цена какого-либо товара, можно вычислить, насколько вырастет или снизится объём его продаж, хотя нельзя конкретно выяснить, кто именно пойдёт, а кто не пойдёт его покупать. Многие сложные социальные процессы подчиняются статистическим закономерностям, хотя и не так точно, как физические. Существует статистика пассажиропотоков в городском транспорте, оценивающая среднее число пассажиров, едущих в определённом направлении в различное время суток, или статистика авиаперевозок в зависимости от времени года.

В любом случае, когда удаётся выявить детерминистские или статистические закономерности в каких-либо явлениях, эти явления можно объяснять, прогнозировать и во многих случаях регулировать, т. е. можно сказать, что в них существует определённый порядок. Если же таких закономерностей обнаружить не удаётся, поведение системы считается хаотическим, непредсказуемым и нерегулируемым. К числу таких процессов относится поведение людей во время паники, вызванной внезапно возникшей опасностью.

Не все процессы, которые кажутся нам хаотичными, на самом деле являются такими. Задачей исследователей, занимающихся как естествознанием, так и социально-экономическими науками, является выявление неизвестных закономерностей. Вся история науки является историей открытия закономерностей в явлениях, прежде казавшихся случайными, в результате чего наш мир становится более понятным и предсказуемым.

Проверьте свои знания

1. Почему понимание порядка может быть различным в представлении разных людей?

2. Что такое детерминизм?

3. Что должен знать «демон Лапласа» для того, чтобы с абсолютной точностью предсказать будущее?

4. Как называются процессы, в которых не существует ни детерминизма, ни статистических закономерностей?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Приведите примеры статистических закономерностей в жизни общества; в производственных или финансовых процессах.

3. Используя дополнительные источники информации, сравните теологический, космологический и антропологически-этический де терминизмы. В чём их сходство и различие? Какая связь существует между детерминизмом и хаосом?

§ 69 Симметрия

Одним из видов проявления порядка в природе является симметрия. В общем виде ***симметрию*** можно определить как повторяемость каких-либо объектов или явлений. Она широко распространена в природе и используется человеком в самых разнообразных его произведениях (рис. 187). Симметрию можно наблюдать как во времени, так и в пространстве. Многие явления, такие как положение Луны, Солнца и звёзд, будут повторяться через определённый отрезок времени. Природные события – листопад и раскрытие почек на деревьях, таяние снега или разливы рек, отлёт и возвращение перелётных птиц – также имеют периодичность, хотя она выполняется не с такой точностью, как при астрономических наблюдениях. Такая периодичность и создаёт тот порядок, благодаря которому мы можем предсказывать будущие события.

Временные повторы широко используются в музыке и поэзии. Хорошо известно понятие ритма в музыке, где оно означает соотношение длительности нот в их последовательности. Ритмические свойства стихотворения определяются поэтическим размером, в котором оно написано. Размер зависит от порядка чередования ударений в стихотворной строке.

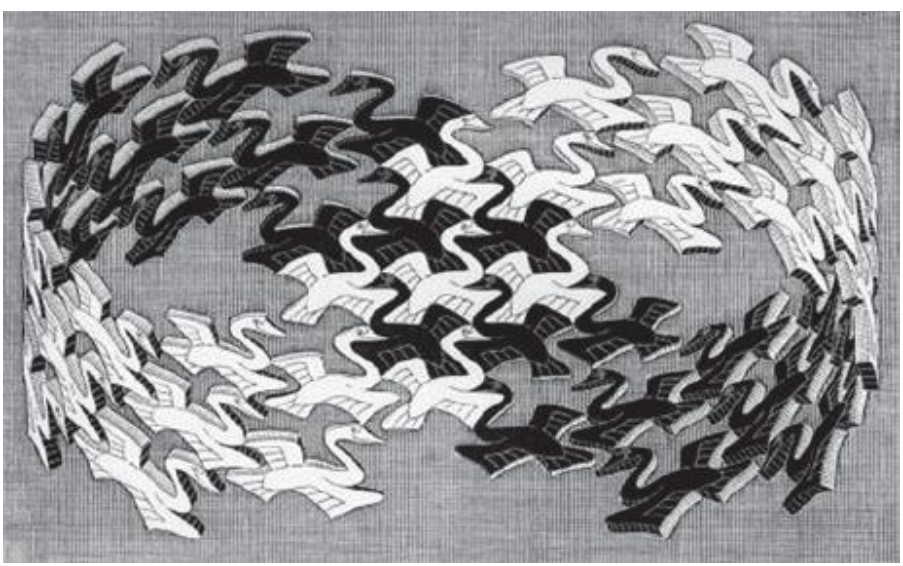


Рис. 187. М. К. Эшер «Лебеди». В графике художника Морица Корнелиса Эшера заложены глубокие принципы симметрии. Эшер говорил: «Все мои произведения – это игры. Серьёзные игры. Всё, что я делаю, – это игра. Я просто пытаюсь сложить маленьких

зверушек вместе – я не нахожу, что это легко, но я получаю невероятное удовольствие, находя способ соединить их. Меня забавляют все вопросы, которые возникают, когда я работаю. Эти вопросы дразнят меня, и моё самое большое удовольствие – это понять, о чём они, а затем найти ответы на них. Потом я делаю оттиск, чтобы другие смогли разделить мою радость. Вы называете Это математикой?..»

Рис. 188. Радиальная симметрия: А – цветок; Б – снежинка; В – морская звезда

Рифма в поэтических произведениях также служит для придания им определённого ритма: через определённое число слогов происходит повторение звука или похожих сочетаний звуков.

Радиальная симметрия

Симметрия в пространстве может проявляться в повторении некоторых фигур через определённые промежутки длины. Этот приём часто используют в линейных орнаментах, обрамляющих стену или край покрывала. Для более сложных фигур как в природе, так и в искусственных предметах характерна ***радиальная,*** или ***лучевая, симметрия,*** которая проявляется в том, что при повороте изображения на определённый угол оно сохраняет свой прежний вид. Представим себе окружность с определённым радиусом. На какой бы угол мы её ни повернули, она всегда останется той же окружностью. Нанесём на эту окружность четыре точки на равном расстоянии друг от друга. Теперь, для того чтобы такая фигура сохранила свой вид, её надо повернуть на 90, 180, 270° или, естественно, на 360°. Если таких точек шесть, угол поворота должен быть кратным 60°. Такая симметрия наглядно проявляется в строении снежинок, многих цветков и некоторых животных, таких как актиния или морская звезда (рис. 188). Радиальной симметрией обладают также многие молекулы (например, бензола) и кристаллы.

Двусторонняя симметрия.

Большинство животных, включая человека, обладают ***двусторонней симметрией*** (рис. 189). При этом через объект можно провести прямую линию, которая будет делить его на две равные части. Эту линию называют ***осью симметрии***. Если мы рассмотрим объекты с радиальной симметрией, то увидим, что они тоже обладают осями симметрии, но не одной, как в случае двусторонней симметрии, а несколькими. Например, в круге с четырьмя точками их будет две. Двусторонняя симметрия обладает одной интересной особенностью. Положите руки по обе стороны от прямой линии на равном расстоянии от неё. Вы увидите две руки, одинаковые по форме, но противоположные по положению, что можно заметить хотя бы по тому, что большие пальцы направлены в разные стороны (рис. 190). Таким образом, левая рука по положению соответствует не правой руке, а её отражению в зеркале. Поэтому такая симметрия называется также зеркальной. Посмотрите на себя в зеркало. Вы увидите точное собственное изображение с той только разницей, что право и лево поменяются местами. Если вы поднимете правую руку, ваш двойник в зеркале поднимет левую, и наоборот. Поднесите к зеркалу правую руку, и вы увидите, что она выглядит в точности так же, как левая рука без зеркала. Таким образом, оказывается, что ось симметрии делит объект не на две одинаковые части, а на части, представляющие собой зеркальное изображение друг друга.

Свойство зеркальной симметрии может проявляться и во времени. В этом качестве она часто используется в музыкальных произведениях. Самое простое представление о музыкальной зеркальной симметрии можно получить, если сыграть гамму в обычном и обратном направлении. Этот приём использовался в разных видах многими композиторами. Например, у Иоганна Себастьяна Баха в его произведении «Музыкальное приношение» используется «ракоходный канон», который исполняют две скрипки, одна из которых играет мелодию в порядке, противоположном другой.

Предметы с двусторонней симметрией обладают одной особенностью: как бы мы их ни сгибали и ни поворачивали, совместить их друг с другом невозможно. Попробуйте сделать это со своими руками и убедитесь, что ничего не получится. Если все пальцы будут направлены в одну сторону, то ладони – в разные. Если направить ладони в одну сторону, то большие пальцы окажутся направленными противоположно друг другу. Если же и ладони, и большие пальцы направить в одну сторону, то

противоположно направленными станут все остальные пальцы. Таким образом, совместить в пространстве предмет с его зеркальным изображением невозможно.

Рис. 189. Двусторонняя симметрия цветка и человека

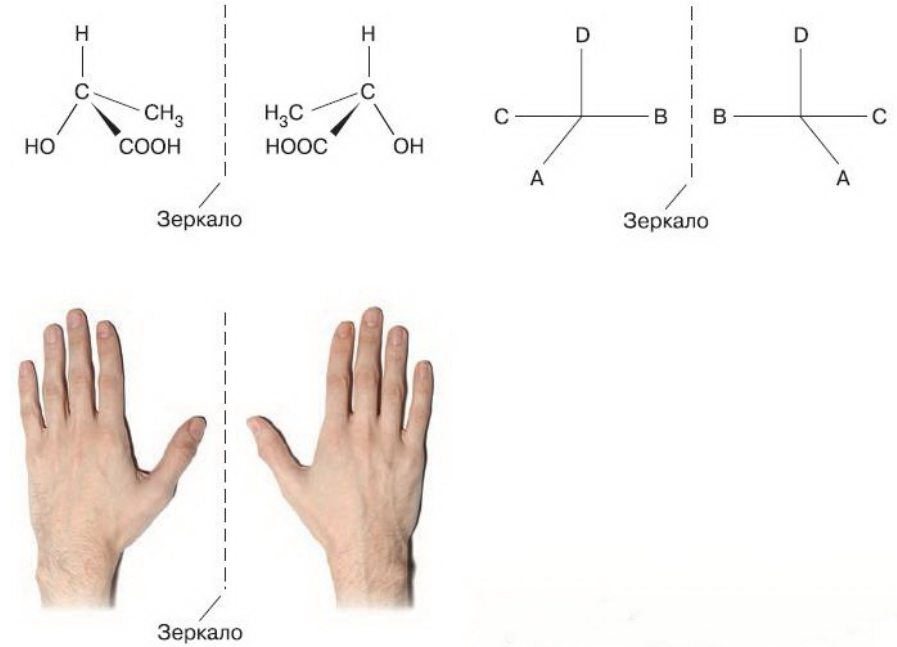


Рис. 190. Зеркальные изображения и оптическая изомерия молекул

Оптические изомеры.

Эта особенность играет большую роль во многих природных явлениях. Особенно интересно она проявляется в биохимических процессах. Представим себе молекулу органического вещества, состоящую из четырёх атомов (см. рис. 190). Расположим атомы A, B и C в вершинах треугольника, а атом D на прямой, перпендикулярной к плоскости этого треугольника. Если смотреть со стороны точки D так, чтобы точка A была перед нами, то возможны два варианта: либо B будет справа, а C – слева, либо наоборот. Эти два варианта обладают зеркальной симметрией и не могут быть совместимыми посредством каких угодно поворотов. Следовательно, молекулы одного и того же вещества могут существовать в двух вариантах, условно называемых «правым» и «левым». Химические свойства «правых» и «левых» молекул абсолютно одинаковы, а физические различаются. Основное различие состоит в том, что их растворы по-разному пропускают свет. Поэтому каждый из двух видов строения молекулы называется ***оптическим изомером.*** Один вид называют D-изомером, а другой – L-изомером. Например, все аминокислоты в организме представлены L-изомерами, а все углеводы – D-изомерами. Противоположные изомеры не усваиваются клеткой и

даже могут быть для неё вредными. Такое разделение появилось вместе с возникновением жизни на Земле и не менялось в течение всего процесса эволюции.

Проверьте свои знания

1. Как проявляется симметрия во времени в природных и общественных процессах? Какое свойство живого отражает симметрию во времени?

2. Что такое радиальная симметрия? Приведите примеры.

3. Объясните, почему двустороннюю симметрию иначе называют зеркальной.

4. Опираясь на знания, полученные в курсе биологии, объясните, с чем связано возникновение двусторонней симметрии в животном мире. В чём особенность живых организмов, обладающих радиальной симметрией?.

5. В каких системах нарушается равноправие D– и L-изомеров химических веществ?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию на тему «Симметрия в природе и искусстве».

§ 7 Системы и системный подход

Редукционизм и холизм.

Развитие науки и проведение исследований в самых разнообразных областях человеческого познания привели к выводу, что в природе, помимо строгих физических законов, существуют и иные, не менее значимые закономерности, без учёта которых знания о существующем в природе порядке остаются неполными. Как мы уже могли убедиться, основой научного подхода является представление о том, что, детально изучив свойства элементов, составляющих некий целостный объект, и силы взаимодействия между этими элементами, мы можем получить полное знание об исследуемом объекте. Такое представление называют ***элементаризимом*** или ***редукционизмом*** (от лат. reductio – возвращение, приведение обратно). Однако среди некоторых мыслителей существовал и противоположный подход, сформулированный ещё Аристотелем и заключающийся в том, что целое не может быть просто суммой своих частей, оно содержит в себе нечто большее, несводимое к свойствам отдельных частей. Высказывались мнения о том, что целое и является главным во всяком объекте, а его элементы подчиняются свойствам этого целого. Такой подход получил название ***холизма*** (от греч. holos – целое).

Теория систем.

Попытки примирить эти два представления, каждое из которых имело свои достоинства и недостатки, привели к возникновению системного подхода и основанных на нём системных исследований. Впервые идея о системном подходе к исследованию самых разнообразных явлений – от механических до социально-экономических – была высказана русским врачом, философом и революционером **Александром Александровичем Богдановым** (1873–1928). Главная идея его книги «Тектология или всеобщая организационная наука» заключалась в том, что к изучению любого явления надо подходить с точки зрения его организации. Богданов полагал, что законы организации систем едины для любых объектов. Самые разнородные явления объединяются общими структурными связями и закономерностями.

Однако идеи Богданова не получили широкой известности, и в 30—40-х гг. XX в. австрийский биолог **Людвиг фон Берталанфи** (1901–1972) предложил свои, во многом схожие с позицией Богданова принципы, которые он обозначил как «Общая теория систем». На основе этих принципов был разработан ***системный подход*** к исследованию самых разнообразных процессов и явлений. В рамках системного подхода любой объект (система) рассматривается как совокупность элементов (подсистем), которые находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и с внешней средой. Существует много определений понятия «система». Приведём одно из них.

> *«Система – существующая как единое целое совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, в которой функционирование каждого элемента подчинено необходимости сохранения целого».*

При этом любой реально существующий в природе объект может рассматриваться и как система, состоящая из взаимодействующих частей, и как часть более общей и сложной системы. Если рассматривать, например, человека, то с точки зрения социологии, истории или экономики он может рассматриваться как часть или элемент сложной этнической и социально-экономической системы (рис. 191). Физиолог же будет рассматривать его как сложную систему, состоящую из взаимодействующих частей, которые представлены органами и тканями. Но каждый орган, ткань и даже каждая клетка, в свою очередь, также может рассматриваться как система. Например, элементами клетки являются мембраны, органоиды и биологически активные молекулы.

Таким образом, между системами не существует чёткой границы, и вопрос о том, что именно считать системой и её элементами, каждый раз решается исследователем в соответствии с поставленной им задачей. Уильям Росс Эшби, один из создателей кибернетики[21] – науки, основанной на тех же принципах, что и теория систем, говорил, что возможных событий в мире гораздо больше, чем тех, которые реально осуществляются.

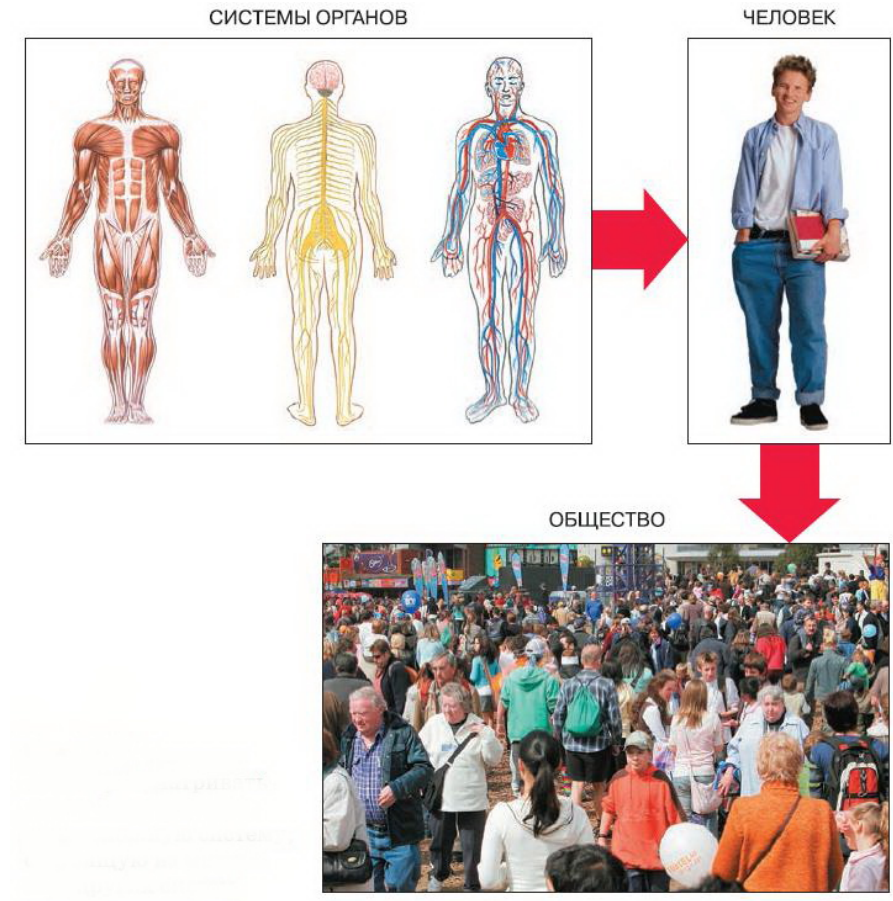


Рис. 191. Человека можно рассматривать и как часть системы, и как сложную систему, состоящую из множества других систем

Поэтому каждый наблюдатель может учесть лишь малую часть всех возможностей.

> *«Следовательно, любая система, подчиняющаяся определённым требованиям, может быть представлена таким образом, что она будет обнаруживать разнообразие произвольно определённых «частей» просто за счёт изменения точки зрения наблюдателя».*

Поэтому существует даже такое определение системы:

> «Система есть то, что рассматривается как система».

Внешние и внутренние системы.

Нужно обратить внимание на одно важное обстоятельство. Часто словом «система» обозначают два различных понятия. Существуют, например, системы, созданные для классификации каких-либо объектов. Типичным примером является классификация живого мира, предложенная Карлом Линнеем и в общих чертах сохранившаяся до нашего времени. Точно так же можно создать систематику минералов, небесных тел или чего-либо ещё. Такие системы создаются человеком для того, чтобы ему было удобно ориентироваться в природных явлениях. Реально в природе они не существуют. Представители одного отряда животных могут обитать на разных континентах, никогда не вступая во взаимодействие. Поэтому такие системы часто называют *внешними,* так как создающий их человек является по отношению к ним внешним фактором.

Другие системы реально существуют в природе, независимо от точки зрения наблюдателя. К ним относятся организмы, природные сообщества или государства. Такие системы называют *внутренними,* потому что они организуются самостоятельно. Важно, что если во внешних системах элементы выбираются по принципу сходства, то во внутренних, наоборот, необходимо их разнообразие, потому что каждый элемент занимает особое место и выполняет специфическую роль при взаимодействии с другими элементами. В действительности, однако, существует много систем, сочетающих в себе признаки внешних и внутренних. Например, биологический вид может служить элементом внешней системы, если его представители обитают на разных территориях и не взаимодействуют, либо элементом внутренней системы, если принадлежащие к нему организмы живут вместе и образуют популяцию.

Кибернетика – наука о принципах управления

Приблизительно в то же время, что и теория систем Берталанфи, т. е. в 40-х гг. XX в., возникла родственная ей наука, которая в математическом виде исследовала общие принципы управления. Она получила название ***кибернетика*** (от греч. hypernetike – искусство управления[22]). Кибернетика – это наука об общих закономерностях процессов управления в различных системах, включая машины, живые организмы или общество. Само название было предложено в 1948 г. американским математиком **Норбертом Винером** (1894–1964) (рис. 192), которого называют отцом кибернетики. От общей теории систем кибернетика отличается большей математической и технической

направленностью, её главными задачами являются математическое моделирование регуляторных процессов и создание автоматов, имитирующих работу живых организмов вплоть до искусственного интеллекта. Кибернетика изучает различные виды управляющих систем. Для того чтобы система могла чем– либо управлять, она должна быть, во-первых, достаточно сложной, а во-вторых, динамической, т. е. способной к постоянному изменению. Поэтому говорят, что предметом кибернетики является исследование сложных динамических систем. При этом кибернетику не интересуют конкретные физические, химические или биологические основы протекающих процессов – одни и те же приёмы и методы используются для описания закономерностей, которые обнаруживаются в механизмах, живой клетке, мозгу или в обществе.

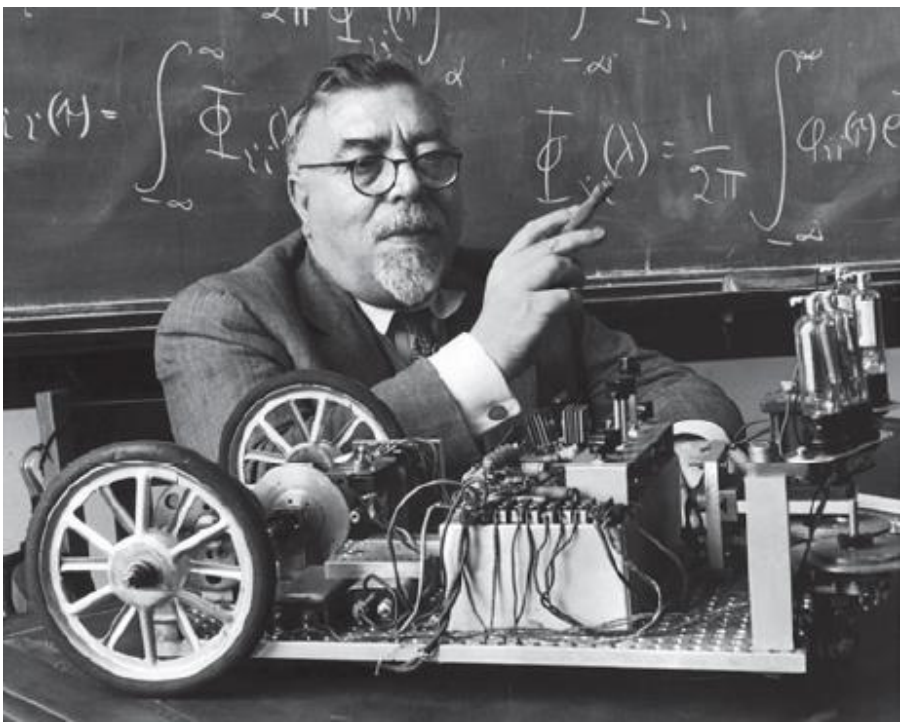


Рис. 192. Норберт Винер

Для решения поставленных кибернетикой задач требовался огромный объём математических вычислений. Поэтому развитие кибернетики сопряжено с появлением и бурным развитием электронно-вычислительной техники, которая одновременно и использовала достижения этой науки, и способствовала решению её новых задач. Появление и усовершенствование электронно-вычислительных машин сделало возможным практическое

применение системного подхода и основанного на нём системного анализа сложных природных и социальных объектов. Кибернетика, так же как и теория систем, тесно связана с относительно новыми науками – теорией информации и синергетикой, с которыми вы познакомитесь позже.

Проверьте свои знания

1. Что означают понятия редукционизма и холизма?
2. На каких принципах строится системный подход?
3. Что такое «внешние» и «внутренние» системы?
4. Что означает слово «кибернетика»? Что является предметом исследований в кибернетике?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.
2. Приведите пример какой-либо природной или искусственной системы. Опишите входящие в неё элементы, их взаимодействие и свойства этой системы как целого.

§ 71 Методы исследования систем

Методы исследования систем зависят от величины систем, их сложности и степени точности установления связей между элементами системы. В простейшем случае, если система состоит из небольшого числа элементов, между каждой их парой могут быть установлены связи. Если такая связь существует, то это значит, что между элементами существуют какие-то отношения. Представим себе систему из трёх девушек, которых зовут Даша, Маша и Катя. При этом Даша знакома и с Машей, и с Катей, а Маша и Катя между собой не знакомы. Изобразим эту систему (рис. 193).

То, что представлено на рисунке, называют графом. ***Граф*** – это фигура, состоящая из точек и линий, соединяющих некоторые точки.

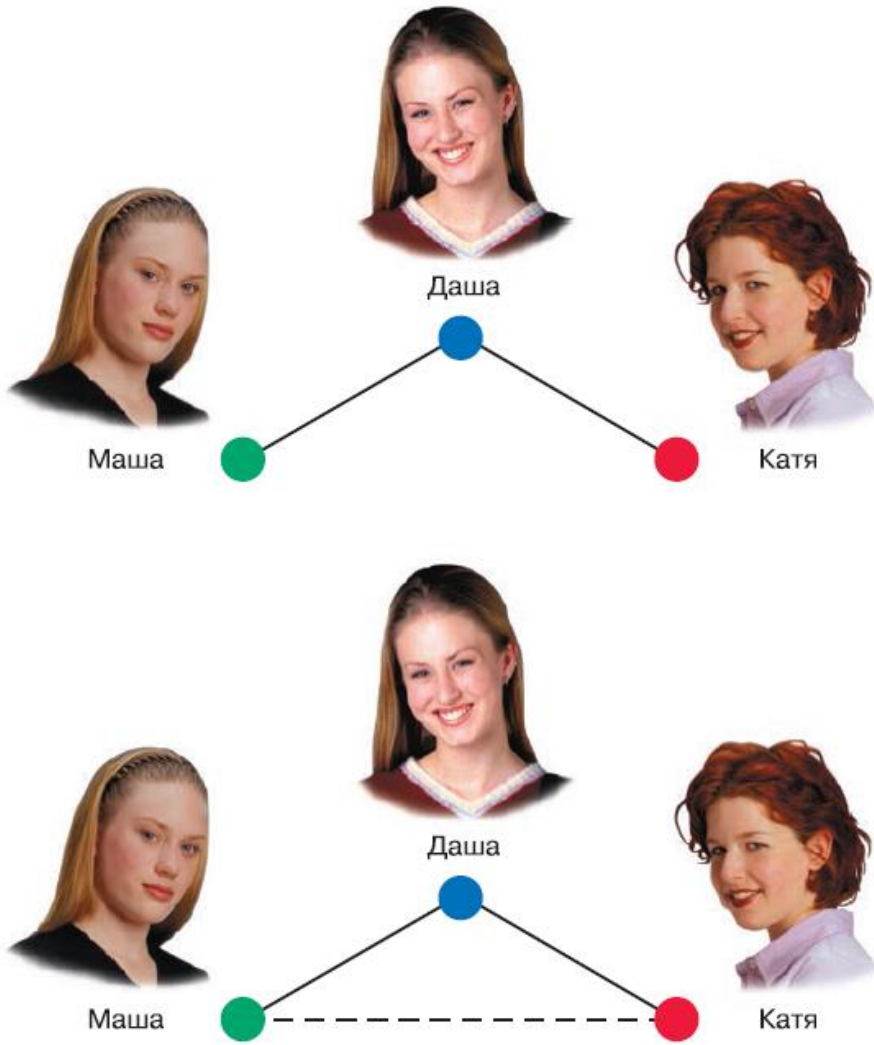


Рис. 193. Граф, иллюстрирующий взаимоотношения между Машей, Катей и Дашей

Точки называют *вершинами* графа, а линии – *рёбрами.* Если между всеми элементами системы установлены связи, то каждая вершина соединена рёбрами с любой другой. Такой граф называют ***полным.*** В нашей группе из трёх девушек полный граф получится, если Маша познакомится с Катей. Если же, напротив, Даша куда-нибудь уедет и перестанет общаться как с Машей, так и с Катей, то в графе не останется ни одного ребра, и он станет ***пустым.***

Пока мы установили только наличие отношений между девушками, но не выяснили, какие это отношения. Предположим, что все три девушки знакомы между собой, но Даша дружит и с

Машей, и с Катей, однако при этом Маша Катю недолюбливает. Чтобы изобразить эти отношения в виде графа, надо сделать так, чтобы рёбра имели положительный или отрицательный смысл. Для этого можно поставить над ними знак «+» или «-» или, как это часто делается, положительную связь изобразить в виде сплошной линии, а отрицательную – в виде пунктира.

Таким способом мы определили характер отношений между членами группы, однако в некоторых случаях этого бывает недостаточно. Иногда требуется выяснить не только наличие и знак связи, но и направление, в котором один элемент системы влияет на другой. Можно найти много примеров, когда один из элементов влияет на состояние другого, но тот не оказывает никакого действия на первый. Учитель может научить школьника химии, но ученик вряд ли что-нибудь добавит к знаниям учителя по этому предмету. Погода влияет на урожай свёклы, но урожай свёклы никак не влияет на погоду. В этом случае мы изобразим рёбра графа не просто чёрточками, а стрелками, показывающими, в каком направлении оказывается влияние. Такой граф называют ***организованным графом*** или сокращенно ***орграфом***. В этом случае влияние также может быть положительным или отрицательным, что обозначается знаками около стрелок или типом линии, с помощью которой они изображаются.

Типы обратных связей

Во многих случаях элементы в каждой паре оказывают взаимное влияние друг на друга. Такое отношение называют ***обратной связью*** и изображают на графе двумя противоположно направленными стрелками. В зависимости от характера воздействия, т. е. от знаков, которые приписываются этим стрелкам, можно выделить три типа обратных связей.

Отрицательная обратная связь, или плюс-минус взаимодействие, обеспечивает стабильность системы, невозможность выхода её состояния за определённые пределы. Мы уже рассматривали пример отрицательной обратной связи в § 9, где говорили об экологических моделях. Представьте себе систему из двух элементов A и B, которые связаны таким образом, что A усиливает B, а B ослабляет A. Что будет, если состояние одного из элементов немного изменится? Допустим, что величина A увеличилась. За этим тотчас же последует увеличение B. Но это увеличение вызовет снижение A, и в результате система останется в прежнем состоянии или, как в случае лис и зайцев, будет совершать колебания около некоего среднего значения. Поэтому

такой тип взаимодействия называют также ***стабилизирующей обратной связью***. Отрицательная обратная связь часто встречается в природных биологических процессах и широко применяется в разнообразных технических приспособлениях. Простым известным примером может быть устройство сливного бачка, где поступающая вода поднимает поплавок, который прекращает дальнейшее поступление воды.

Отрицательная обратная связь имеет огромное значение для устойчивости природных и технических систем. Но легко понять, что, если бы все системы были абсолютно устойчивы, было бы невозможно никакое развитие. Изменения в системах обеспечиваются ещё двумя типами обратных связей. Одну из них называют ***положительной обратной связью***. Она состоит в том, что оба элемента в паре усиливают друг друга. Если вывести такую систему из равновесия, немного усилив элемент А, то элемент В тоже усилится, что приведёт к дальнейшему увеличению А и т. д. В результате оба элемента будут постоянно возрастать до возможного в этих условиях предела. Такая ситуация часто возникает в группе людей и приводит к разрастанию возникшего скандала или паники. Если же нарушение равновесия выразится в уменьшении А, то это приведёт к уменьшению В, и процесс будет продолжаться до тех пор, пока оба элемента не достигнут своих минимальных значений. Такую картину можно наблюдать в экологических системах, где между двумя видами живых организмов существуют симбиотические отношения, т. е. отношения взаимопомощи (рис. 194).

Третий тип обратной связи называют ***антагонистической связью***, она выражается в подавлении каждым элементом своего партнёра. Если один из элементов случайно усилится, то это приведёт к ослаблению второго элемента и вслед за этим – к дальнейшему усилению первого. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока один элемент не достигнет максимального, а второй – минимального значения. Примером может служить экологическая ситуация, когда два вида находятся в конкурентных отношениях.

Чёрный ящик.

Существует, однако, множество систем, в которых мы не можем установить точных связей между элементами потому, что эти связи очень сложны, или потому, что элементов очень много и за ними невозможно пронаблюдать. Для изучения таких систем

используют другие методы исследования.

Рис. 194. Опыление цветков пчёлами – пример симбиотических взаимоотношений

На заре кибернетики появилось и широко использовалось понятие ***чёрного ящика,*** под которым понималась система, слишком сложная для непосредственного изучения, но для которой можно установить связь между её входами и выходами. Для этого надо наблюдать, что воздействует на систему, или искусственно воздействовать на неё, одновременно следя за ответной реакцией, т. е. зная, что есть «на входе», следить за результатами «на выходе» системы[23].

В некоторых случаях можно установить однозначную связь между состоянием входов (воздействия) и состоянием выходов (реакции) при том, что мы не можем в точности знать, как ведёт себя каждый из элементов системы. Но ведь мы убеждены в том, что результат определяется именно этими элементами. Как же нам описать их поведение? Не имея возможности точно определить характеристики этих элементов, мы можем оценить их *приблизительно,* с какой-то степенью допуска. Здесь мы опять сталкиваемся с проблемой отношения детерминизма и случайности. Если мы не можем установить, как ведёт себя в точности молекула в сосуде с газом, муравей в муравейнике или человек в государстве, мы должны считать это поведение в большей или меньшей степени случайным. Но что означает «в

большей или меньшей»? Как измерить случайность? Для этого существует понятие математической вероятности, с которым мы познакомимся в следующем параграфе.

Проверьте свои знания

1. Что такое граф? Что такое вершины и рёбра графа? Что такое «полный» и «пустой» граф?

2. Какой граф называется организованным?

3. Какие типы взаимодействия между элементами существуют при отрицательной, положительной и антагонистической обратных связях?

4. Что такое метод чёрного ящика?

Задания

1. Приведите примеры взаимоотношений организмов в природе, основанных на положительной обратной связи.

2. Приведите примеры систем с отрицательной, положительной и антагонистической обратными связями. Начертите организованные графы, в которых обозначьте типы связей между элементами.

3. Существует группа людей, состоящая из восьми человек. Участники этой группы А, Б и В образуют первую подгруппу, а участники Г, Д и Е – вторую. Члены каждой подгруппы дружат между собой, но не любят членов другой подгруппы. Участники Ж и З находятся во взаимных дружеских отношениях и не вмешиваются в отношения участников этих двух подгрупп. Наконец, в группе имеется участник И, который умудряется дружить со всеми членами коллектива. Нарисуйте граф, иллюстрирующий отношения в группе.

§ 72 Вероятность

В жизни нам часто приходится сталкиваться с наблюдениями или испытаниями, результаты которых невозможно предвидеть, потому что они зависят от различных обстоятельств, которые мы не знаем или не можем учесть. Часто мы говорим, что некое событие скорее всего произойдёт или, наоборот, что его наступление маловероятно. «Вряд ли завтра будет дождь» или «Скорее всего, мы на следующей неделе поедем на дачу». Что стоит за этими высказываниями и можно ли их выразить в строгой математической форме? Идея о том, что можно как-то измерить значения событий, которые ещё не произошли, но в принципе могут произойти, возникла, как ни странно, в связи с изучением закономерностей выигрышей в азартных играх, таких как карты или кости (рис. 195). Невозможно предсказать, какая карта будет вынута из перетасованной колоды или сколько очков окажется на верхней грани упавшей кости. Однако можно заметить, что если мы будем много раз вытаскивать карты, то туз бубен появится почти точно столько же раз, сколько и тройка треф. Количество выпавших шестёрок на кости будет почти точно такой же, как и количество единиц.

Рис. 195. Изучение закономерностей выигрышей в азартных играх привело к мысли, что можно измерить вероятность ещё не наступившего события

В этих случаях говорят, что все карты колоды или все грани кубика имеют равную ***вероятность*** быть вынутыми или выброшенными.

Назовём событие, которое в настоящее время нас интересует, *благоприятным.* Например, таким событием будет выпадение шестёрки на игральной кости. Если мы будем бросать кость много раз, то увидим, что отношение числа благоприятных событий к общему числу событий, т. е. ко всем результатам бросания кости, будет оставаться постоянным. (В данном случае оно будет равно $^1/_6$.) Это отношение называют вероятностью наступления благоприятного события. Для того чтобы правильно определить вероятность, требуется провести очень много испытаний. Если мы бросим кость один раз, то число благоприятных событий может быть только нулём или единицей. Если бросить кость два раза, то очень возможно, что шестёрка не выпадет ни разу, хотя вполне может случиться, что она окажется сверху в обоих случаях. Поэтому вероятностью, строго говоря, надо называть *предел отношения благоприятных событий к общему числу событий,*

когда общее число событий стремится к бесконечности. Ввиду того что число благоприятных событий не может быть меньше нуля и больше числа всех событий, вероятность представляет собой число, которое может принимать значения от 0 до 1. В математике вероятность обычно выражается буквой *p,* так что $0 \leq p \leq 1$. Событие, вероятность которого равна нулю, называются *невозможным,* а то, вероятность которого равна единице, – *достоверным.*

Такой способ определения вероятности называют *эмпирическим,* он требует проведения большого числа испытаний или наблюдений. В некоторых случаях без него невозможно оценить вероятность того или иного события. Например, для того чтобы узнать вероятность того, что 1 июня следующего года будет солнечный день, необходимо взять результаты метеорологических наблюдений для 1 июня за многие десятки лет, найти, сколько раз в этот день была ясная погода, и разделить это число на количество лет, в течение которых проводились наблюдения.

Однако во многих случаях вероятность события можно определить, не проводя испытаний, на основе только теоретических рассуждений. У нас нет никаких оснований думать, что шестёрка, как и любое другое число очков, будет выпадать чаще других. Поэтому можно заранее утверждать, что вероятности выпадения всех шести возможных вариантов равны между собой и, следовательно, равны $^1/_6$. Если мы вытаскиваем наугад карту из полной колоды, то вероятность того, что она будет червовой, равна j, точно такой же, как и для любой другой масти. Если мы много раз будем вынимать по карте (назовём это действие испытанием), а затем каждый раз возвращать её обратно и перетасовывать колоду, то результат достаточного количества испытаний будет такой: $^1/_4$ червей, $^1/_4$ бубен, $^1/_4$ треф и $^1/_4$ пик. Если же результат окажется иным, то это будет означать, что масти в колоде находятся не в равном количестве, т. е. что колода «неправильная».

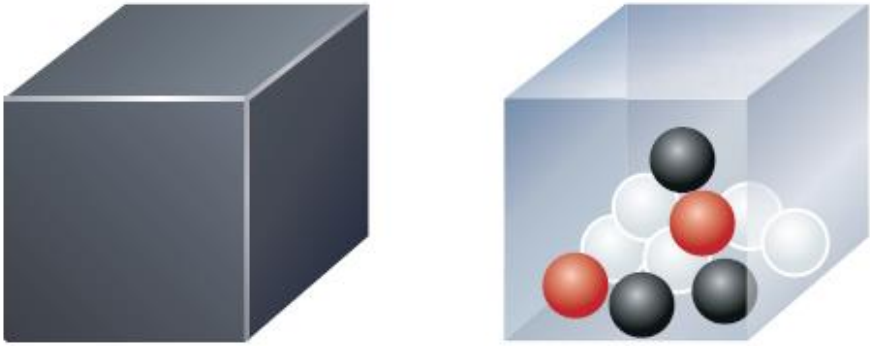


Рис. 196. Урна с шарами (пояснения в тексте)

Точно так же, если на игральной кости какое-то число будет выпадать чаще или реже, чем в одной шестой случаев, мы можем быть уверенными, что кость бракованная. Если все возможные события имеют одинаковые вероятности, их называют равновероятными. Если число таких событий равно N, то вероятность каждого из них равна 1/N.

Однако далеко не всегда мы имеем дело с равновероятными событиями, можно даже сказать, что чаще бывает наоборот. Рассмотрим простой пример. У нас есть ящик (в теории вероятности он называется урной), в котором находится 10 тщательно перемешанных шаров, из которых 5 белых, 3 чёрных и 2 красных (рис. 196). Вынем наугад один шар. Спрашивается, какова вероятность извлечь шар определённого цвета? Очевидно, что мы имеем 5 шансов из 10 вынуть белый шар, 3 – чёрный и 2 – красный, т. е. вероятности вынуть белый, чёрный и красный шар равны, соответственно, 0,5, 0,3 и 0,2. События, заключающиеся в извлечении белого, чёрного или красного шара, называют *несовместимыми,* так как невозможно, чтобы вынутый шар был одновременно белым и красным.

Теперь представим себе, что нас интересует вероятность того, что вынутый шар будет либо белым, либо красным. Поскольку в урне имеется 7 шаров, удовлетворяющих нашему требованию, то и вероятность такого события будет равна 0,7. Но 0,7 = 0,5 + 0,2. Отсюда следует вывод: *вероятность того, что произойдёт какое-либо из несовместимых событий, равна сумме вероятностей этих событий.* Допустим, мы хотим узнать вероятность того, что брошенная кость покажет число очков, делящееся на 3. Этому условию соответствуют 3 и 6 очков. Так как вероятность выпадения каждого из них равна $^1/_6$, то интересующая нас вероятность будет равна $^1/_6 + {}^1/_6 = {}^1/_3$

Теперь определим вероятность того, что интересующее нас событие **не** произойдёт. В примере с урной мы хотим знать

вероятность того, что вынутый шар **не** будет красным. Очевидно, что здесь мы имеет дело с двумя несовместимыми событиями: шар будет либо красным, либо не красным. Вероятность первого события равна 0,2, а вероятность второго 0,5 + 0,3 = 0,8. Значит, с вероятностью 0,8 мы вынем из урны не красный шар. Обратим внимание на то, что сумма вероятностей всех возможных несовместимых событий равна 1. Это вполне очевидно, так как ясно, что какое-нибудь событие из всего набора возможных произойдёт наверняка. Этот факт достоверен, а потому его вероятность равна 1. Но вероятность того, что какое-нибудь из всех возможных событий произойдёт, равна сумме их вероятностей и, следовательно, эта сумма вероятностей равна 1. Отсюда следует, что вероятность того, что какое-то событие не наступит, равна 1 минус вероятность того, что оно наступит, потому что либо то, либо другое произойдёт наверняка: $p(A) + p(\text{не}A) = 1$.

Для того чтобы всё это лучше понять, решим простую задачу. Через остановку проходят автобусы трёх маршрутов. Известно, что по первому маршруту курсирует 15 автобусов, по второму – 20, а по третьему – 25. Вам нужен автобус второго маршрута. Какова вероятность того, что первый пришедший автобус вас не устроит?

Для того чтобы облегчить решение, прибегнем к аналогии с задачей о шарах в урне. Условия нашей задачи равносильны тем, когда в урне находится 15 белых шаров, 20 чёрных и 25 красных. Итого 60 шаров. Какова вероятность того, что первым будет вынут не чёрный шар? Вероятность вынуть белый шар (первый маршрут) равна $p(\text{Б1}) = {}^{15}/_{60} = {}^{3}/_{12}$. Вероятность вынуть чёрный шар (ваш второй маршрут) равна $p(\text{Ч2}) = {}^{20}/_{60} = {}^{4}/_{12}$. Вероятность же вынуть красный шар (третий маршрут) равна $p(\text{К3}) = {}^{25}/_{60} = {}^{5}/_{12}$. Если вероятность того, что первый маршрут окажется вашим, $p(\text{Ч2}) = {}^{4}/_{12}$, то вероятность противоположного события, т. е. того, что вам не повезёт, должна быть равна $1 - {}^{4}/_{12} = {}^{8}/_{12}$. Проверим. Если автобус оказался не вашим, значит, он принадлежит либо первому, либо третьему маршруту. Вероятность того, что придёт один из них p(Б1 или К3) равна $p(\text{Б1}) + p(\text{К3}) = {}^{3}/_{12} + {}^{5}/_{12} = {}^{8}/_{12}$, что и совпадает с полученным нами результатом.

Проверьте свои знания

1. От чего зависит точность определения эмпирической вероятности благоприятного события?

2. Чему равна вероятность каждого из равновероятных событий, если общее число таких событий равно N?

3. Какие события называются несовместимыми? Какова вероятность того, что наступит хотя бы одно из двух несовместимых событий, вероятности которых равны P и Q? Чему равна вероятность того, что событие с вероятностью P не наступит?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. В урне находится 4 белых, 6 чёрных и 2 красных шара. Определите вероятность того, что:

• вынутый шар будет чёрным;

• вынутый шар будет чёрным или зелёным;

• вынутый шар не будет зелёным.

3. Обсудите в классе, какова взаимосвязь между понятиями «вероятность» и «риск».

4. Вспомните примеры из истории или литературных произведений, где участник (герой), оценивая вероятность наступления определённых событий, принимает решение и оказывается в выигрыше.

§ 73 Условная вероятность и случайные процессы

Представим теперь, что нас интересует наступление двух различных событий. Предположим, что детская конноспортивная школа состоит из двух секций: выездки и конкура. Выездкой занимается 15 девушек и 5 юношей, а конкуром – 10 девушек и 20 юношей. Какова вероятность того, что первый встреченный нами в школе ученик будет заниматься конкуром? Условимся считать встречу с членом секции конкура благоприятным событием. Вообще же событием будем считать встречу с любым из занимающихся в этой спортивной школе учеников. Тогда общее число возможных событий равно 15 + 5 + 10 + 20 = 50. Число благоприятных событий равно 30. Следовательно, интересующая нас вероятность равна $^{30}/_{50}$ = 0,6. Теперь предположим, что, зайдя в школу, мы встретили девушку. Какова вероятность того, что она занимается конкуром? Очевидно, что вероятность равна отношению числа девушек, занимающихся конкуром, к общему числу девушек в школе, т. е. $^{10}/_{25}$ = 0,4. Мы видим, что эта вероятность меньше предыдущей. Откуда взялась эта разница? В первом случае мы знали только число учеников, занимающихся конкуром или выездкой. Теперь у нас появились дополнительные сведения: оказалось, что встреченный ученик, вернее ученица, женского пола. Таким образом, величина 0,4 означает вероятность того, что первый встреченный нами человек занимается конкуром *при условии,* что он женского пола. Такую вероятность называют ***условной,*** и она может отличаться от ранее вычисленной вероятности. Таким способом можно вычислить и другие вероятности, выбирая различные условия. Какова безусловная вероятность встретить в конноспортивной школе юношу? Очевидно, 0,5, так как ровно половину из всех учеников составляют юноши. А какова вероятность встретить юношу *при условии,* что он занимается в секции выездки? Поскольку из 25 юношей, занимающихся в конноспортивной школе, только 5 занимаются выездкой, то вероятность такого события равна $^{5}/_{25}$ = 0,2.

Если вероятность события A не изменяется в зависимости от того, наступило событие B или нет, то события A и B называют ***независимыми.*** Например, вероятность того, что завтра будет дождь, никак не связана с тем, какую оценку вы получили по естествознанию. *Если события* A *и* B *независимы, то вероятность того, что наступит и то и другое, равна произведению*

вероятностей этих событий. Например, мы хотим определить вероятность того, что завтра одновременно произойдут два приятных события, оба из которых являются случайными и независимыми: не состоится урок по естествознанию и в буфет привезут особенно вкусные пирожные. Мы знаем, что урок отменяют *в среднем* один раз из десяти, а пирожные завозят *в среднем* один раз в три дня. Выражение «в среднем» означает, что мы не знаем точно, в какой день не состоится урок или привезут пирожные. Мы знаем только, что 10 из 100 уроков обычно по той или иной причине отменяют, а в течение 30 учебных дней интересующие нас пирожные привозят 10 раз. Возможна, например, такая ситуация, когда подряд 3 урока не состоятся из-за болезни учителя, потом в течение месяца не будет отменён ни один, а затем 4 занятия подряд будет пропущено из-за карантина и т. д. Точно так же пирожные могут привозить 3 дня подряд, потом 10 дней не привезти ни разу, а затем снова 2 дня подряд, опять неделю ни разу и т. д. В этом случае и говорят, что отмена урока или доставка пирожных являются случайными событиями. Мы не знаем точно, наступит ли то или иное событие, но можем определить его вероятность. Мы знаем, что вероятность того, что завтра не будет естествознания, равна $^1/_{10}$, а вероятность полакомиться пирожным – $^1/_3$. Значит, вероятность того, что завтра повезёт сразу в двух событиях, равна $^1/_{10} \cdot ^1/_3 = ^1/_{30}$.

Условная вероятность имеет большое значение в тех случаях, когда надо предсказывать будущие события или рассчитывать протекание каких-либо процессов, не зная в точности, какие случайные факторы могут вмешаться в ход этого процесса. В природе существуют процессы, ход которых не может быть нарушен случайными вмешательствами. Если выпустить из руки камень, то можно точно предсказать, когда и в каком именно месте он упадёт на пол. Вернее, это можно сделать *почти точно*, так как возможно, хотя и крайне маловероятно, что в течение той доли секунды, когда камень падает, произойдёт, например, землетрясение. Можно встретить процессы, где результат в принципе предопределён, но возможность вмешательства случайности достаточно велика. Например, мы имеем сложный редуктор с системой зубчатых передач, где вращение передаётся от одной шестерёнки к другой, от неё – к следующей, и так много раз. Такой процесс в принципе строго предопределён и полностью подчиняется законам механики. Однако не исключены случаи, когда один зубчик в какой-либо шестерёнке сотрётся или в механизм попадёт песчинка, в результате чего точность механизма будет нарушена. Существуют, однако, такие процессы, в которых последовательность событий зависит от множества

причин, которые невозможно учесть.

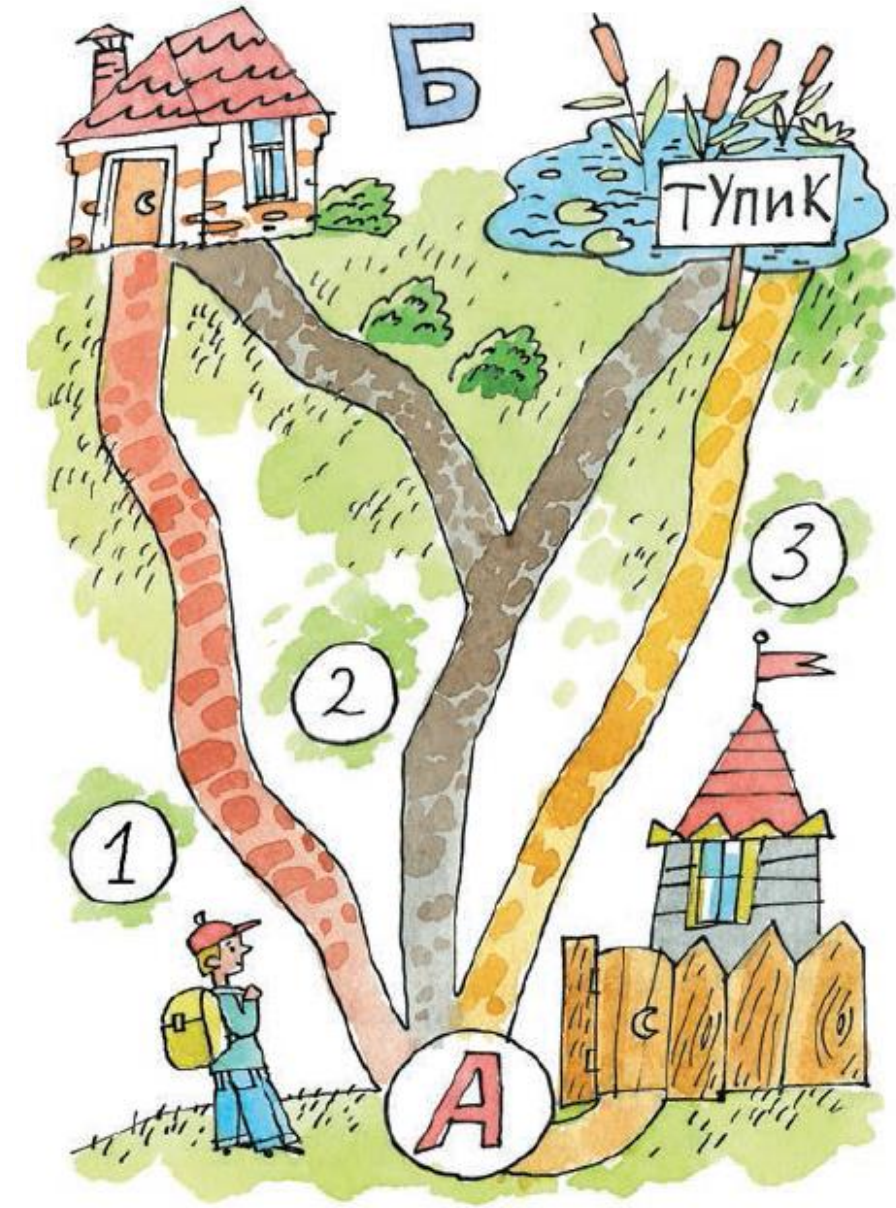


Рис. 197. Схема разветвления дорог (пояснения в тексте)

Такие процессы называют ***случайными*** или вероятностными.

Рассмотрим простой пример случайного процесса (рис. 197). Путешественник хочет пройти из пункта А в пункт Б. Из пункта А выходят три дороги: одна ведёт в пункт Б, вторая – в тупик, а третья через некоторое время раздваивается так, что одна ветвь ведёт в тупик, а вторая в пункт Б. У путешественника нет карты, и

на каждой развилке он выбирает дальнейший путь случайно, считая все варианты равновероятными. Спрашивается, какова вероятность того, что он попадёт в пункт Б, ни разу не зайдя в тупик?

Вероятность того, что путешественник выйдет из пункта А по каждой из трёх дорог, равна $1/3$. Если он пойдет по первой дороге, он сразу же попадёт в нужное место, т. е. с вероятностью $1/3$ он сразу попадёт в пункт Б. Вероятность пойти по второй дороге тоже равна $1/3$, но в этом случае он попадает на развилку, где ему приходится выбирать с равной вероятностью между правильной дорогой и путём в тупик. Вероятность выбора правильной дороги на развилке составляет $1/2$.

Выбор направления в пункте А никак не влияет на выбор направления на развилке, т. е. эти события независимы. Вспомним, что вероятность того, что наступят оба независимых события, т. е. что путешественник вначале выберет вторую дорогу, а затем дорогу в пункт Б, равна произведению вероятностей обоих событий. Следовательно, вероятность того, что путешественник попадёт в пункт Б этим путём, равна $1/3 \cdot 1/2 = 1/6$. Вычислим вероятность того, что путешественник вообще попадёт в пункт Б. Понятно, что если он выберет третью дорогу, то эта вероятность равна нулю, и этот вариант можно не учитывать. Следовательно, есть только два варианта попасть в нужное место: пойти или по первой, или по второй дороге. Выбор либо первой, либо второй дороги – несовместимые события, ведь нельзя пойти сразу по двум дорогам. Поэтому вероятность того, что путешественник попадёт в пункт Б по любому из этих путей, не зайдя в тупик, равна сумме вероятностей для каждого пути, т. е. $1/3 + 1/6 = 3/6 = 1/2$. Вероятность противоположного события (попасть в тупик) равна $1 - 1/2 = 1/2$. Таким образом путешественник имеет равные шансы попасть в пункт Б или зайти в тупик.

При моделировании природных или социально-экономических процессов и при разработке систем автоматического управления используют подобного рода цепи, состоящие из множества шагов (развилок). Если известны вероятности выбора каждого из вариантов на разных ступенях процесса, то конечный результат часто удаётся предсказать с поразительной точностью.

Проверьте свои знания

1. В каком случае события А и В называются независимыми?

2. Чему равна вероятность наступления сразу двух независимых событий, если вероятность наступления каждого равна соответственно P и Q?

3. Что такое условная вероятность?

4. Что такое вероятностные процессы?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Ученик полагает, что вероятность успешной сдачи им зачёта по естествознанию равна 0,6, а по истории – 0,8. Какова, по его мнению, вероятность того, что он успешно сдаст оба зачёта? Какова вероятность того, что он не сдаст ни одного из двух зачётов?

3. В первой урне находится 4 белых и 8 чёрных шаров, а во второй – 12 белых и 8 чёрных. Какова вероятность вынуть белый шар, если брать его наугад из первой попавшейся урны? Какова вероятность того же события при условии, что шар вынимается из второй урны?

4. Приведите примеры географических и научных открытий, которые произошли случайно, вопреки запланированному.

5. Порой в нашей жизни происходят некие случайные события, которые влияют на нашу судьбу. История знает множество подобных примеров. Вот один из них. Известный французский парфюмер Франсуа Коти вопреки строгим правилам первым начал добавлять в духи помимо естественных компонентов ещё и синтетические материалы. В результате они были настолько новаторскими, что ни один магазин не хотел рисковать. Но однажды, во время визита в очередной универмаг, Коти случайно уронил флакон со своими духами, и тот разлетелся вдребезги. Воздух наполнился ароматом, и посетители стали требовать именно эти духи. Аромат был тут же принят, и за несколько дней разошлось 500 флаконов. Так парфюмерный шедевр Коти произвёл настоящую революцию.

Были ли в вашей жизни или в жизни ваших близких подобные счастливые случайности?

6. Джоан Роулинг написала первую книгу о Гарри Поттере, будучи нищей матерью-одиночкой. Спасаясь от глубокой депрессии, она выдумала мир волшебников, который помогал ей забыть о собственных злоключениях. Первые 18 издательств отказались печатать книгу, но 19-е всё-таки решило узнать мнение детей – те были в восторге! А Джоан Роулинг стала известна во всём мире. Всегда ли малая вероятность события

означает, что следует отказаться от попыток его реализации? Сделайте выводы.

§ 74 Статистические методы в естественных и гуманитарных науках

В § 8 мы уже говорили о том, какую роль играют математические методы в обработке результатов научных экспериментов и наблюдений. В этом параграфе мы познакомимся с ними подробнее на основе тех представлений, которые мы получили, знакомясь с понятием вероятности.

Мы будем рассматривать системы, состоящие из достаточно большого числа элементов. Что такое «достаточно большое»? Это зависит от того, какая система исследуется. Иногда число элементов может быть действительно огромным, как, например, число молекул в физических экспериментах, где оно составляет миллиарды миллиардов. Иногда, например в социальных исследованиях, оно может иметь величину порядка нескольких тысяч, а в некоторых случаях, таких как психологические исследования, может быть равным всего нескольким десяткам. Однако независимо от того, какой порядок имеет число исследуемых элементов системы, во всех этих случаях применяют методы ***математической статистики,*** которые строятся на общих математических принципах. Слово «статистика» происходит от того же корня, что и штат[24]. Вначале оно обозначало описание экономического или политического состояния государства или города. Впоследствии этот термин стал использоваться в более широком смысле и, в соответствии с одним из определений, обозначать представление результатов в наиболее сжатой форме.

Потребность в использовании статистики и её методов возникает при исследовании таких систем, где требуется выявить свойства целого на основании поведения его частей или элементов. При этом это поведение либо в принципе не наблюдаемо, как, например, поведение отдельных молекул в газах, либо обладает очень большим разнообразием. Последнее встречается в социологических и психологических исследованиях, где на основании самых различных предпочтений, суждений и поступков отдельных людей требуется сделать выводы, касающиеся всей группы или сообщества. Точно такая же ситуация часто возникает в биологии, когда каждое отдельное животное или растение проявляет во время эксперимента или наблюдения самые различные свойства, на основе которых надо описать всю группу этих организмов в целом.

В этот раз мы будем исследовать не размножение бактерий,

как в § 8, а способность людей к решению определённого типа задач. Предположим, что психолог разработал систему тренинга, которая, как он думает, повышает успешность этого решения. Психолог выдвигает гипотезу, что разработанная им система тренинга эффективна. Но это только гипотеза, и она нуждается в проверке. Каким образом нужно грамотно провести эту проверку? Для этого надо создать две группы испытуемых, одна из которых будет контрольной, а другая – экспериментальной. Важно, чтобы эти группы в среднем ничем не различались между собой. В этом случае говорят, что они должны быть выравнены по всем основным свойствам, которые могут характеризовать человека. Это значит, что в них должен быть равным средний возраст испытуемых, уровень их образования, одинаковое соотношение мужчин и женщин и т. д. Если это условие не будет соблюдено, то всегда можно будет сказать, что на успешность решения задач повлиял не тренинг, а какое-то другое различие между группами. Создав такие группы, психолог начинает проводить тренинг. Испытуемые экспериментальной группы периодически (допустим, через день) приходят на занятия и проводят там определённое время (допустим, полтора часа). Для того чтобы эксперимент был убедительным, испытуемые контрольной группы также должны через день приходить в то же помещение на полтора часа, но вместо тренинга заниматься там чем-либо другим, например слушать музыку или читать журнал.

Таблица 7

Оформление результатов эксперимента

Группа	Количество задач, решённых отдельными испытуемыми															*M*
Контрольная	5	7	4	5	4	8	6	7	8	6	5	7	6	4	8	6,0
Экспериментальная	6	7	6	8	9	7	8	5	4	9	10	6	7	6	7	7,0

Когда требуемое количество занятий проведено, психолог приступает к проверке эффективности своего метода, т. е. даёт испытуемым обеих групп определённое количество задач и определяет, со сколькими из них справился каждый участник эксперимента. Предположим, что задач было 10, а испытуемых по 15 в каждой группе. Полученные результаты выглядят так (табл. 7).

Для того чтобы сравнить результаты, полученные в группах, надо сначала вычислить средний результат в каждой группе. Для этой цели обычно берётся среднее арифметическое значение, которое вычисляется как сумма всех полученных значений, делённая на число испытуемых. В таблице среднее

арифметическое обозначено в последнем столбце буквой *M*. Мы видим, что среднее количество решённых задач в экспериментальной группе больше, чем в контрольной. Однако это различие невелико, и вполне возможно, что оно получилось чисто случайно. Представьте себе, что мы случайным образом разделили 30 человек на две группы и, ничего с ними не делая, провели в каждой из групп испытание. Мы всегда получим какое-нибудь различие просто за счёт того, что способность к решению задач у всех испытуемых разная. Но в этом случае полученное различие будет объясняться случайными причинами. Как убедиться в том, что полученные психологом в эксперименте результаты не случайны, а действительно подтверждают эффективность разработанного им тренинга? Для этого существуют методы математической статистики, которые позволяют вычислить *вероятность того, что полученные различия не случайны.* Если эта вероятность окажется достаточно большой, то будут все основания считать, что разработанный тренинг действительно увеличивает способность к решению задач этого типа. В большинстве научных исследований принято, что такая вероятность должна быть не менее 0,95, тогда вероятность ошибки равна 1 – 0,95 = 0,05. Это значит, что в одном из двадцати случаев мы будем ошибочно считать, что наш метод действенен, в то время как на самом деле различия между группами являются чисто случайными. Ещё более уверенный вывод мы можем сделать, если окажется, что вероятность того, что полученные различия окажутся не случайными, будет равна 0,99 или 0,999. Тогда мы будем ошибаться всего в одном случае из ста или из тысячи. В противном случае вероятность ошибки слишком велика, поэтому говорят, что полученные различия не являются достоверными. Именно такой результат и получил наш психолог в своём исследовании. Его тренинг не дал достоверных результатов.

Но можно ли на этом основании утверждать, что разработанный психологом тренинг бесполезен? Нельзя, потому что для того, чтобы решить этот вопрос, требуется провести большее число испытаний. Вероятность определяется тем точнее, чем больше испытаний или наблюдений мы проводим.

Когда вероятность какого-либо события установлена на основании большого числа испытаний, она позволяет делать правильные прогнозы. Допустим, что проведён опрос среди жителей города, касающийся того, верят ли они рекламе стирального порошка. Из тысячи опрошенных мужчин и женщин различного возраста 428 ответили утвердительно. На этом основании можно сделать вывод, что вероятность того, что какой-

то человек доверяет рекламе, равна приблизительно 0,43. Если в городе живёт 1 млн жителей, то 430 тыс. из них поверят рекламе. При правильном расчёте ошибка будет небольшой, и на этом основании рекламодатель может решить, выгодно ли ему платить за размещение своей рекламы.

Проверьте свои знания

1. В каких случаях требуется использование методов математической статистики?

2. Как вычисляется среднее арифметическое значение?

3. Вероятность чего определяется в результате статистической обработки экспериментальных данных?

4. От чего зависит точность прогноза, сделанного на основе статистической обработки данных?

Задания

1. Подберите эпиграф к данному параграфу.

2. Опираясь на полученные на уроках истории знания, приведите примеры использования статистики и её методов в древних государствах.

3. Объясните, как методы математической статистики применяются в современных демографических исследованиях.

4. Существует такое понятие, как «печальная статистика». Какое значение вкладывается в это словосочетание? Какие примеры из этой области вам известны? Как, по вашему мнению, можно изменить в лучшую сторону данную ситуацию?

Ваша будущая профессия

1. Докажите, что знание методов математической статистики необходимо не только специалистам, но и любому современному человеку.

2. Используя дополнительные источники информации, выясните, чем занимаются и где работают врачи-кибернетики.

3. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, что является областью деятельности актуариев.

4. Статистик – профессия, которая требует от специалиста высокой работоспособности, развитого аналитического

мышления, математических способностей, хорошей памяти, способности к концентрации внимания в течение длительного времени. Статистики работают в банках и больницах, компаниях сотовой связи и телевизионных компаниях, страховых компаниях и магазинах, электронной торговле и исследовательских центрах. Напишите краткое эссе о том, какую именно работу выполняют статистики в этих сферах.

Нобелевские лауреаты XXI в.

Нобелевская премия – одна из наиболее престижных международных премий, присуждаемая за выдающиеся научные исследования, революционные изобретения или крупный вклад в культуру или развитие общества.

Сегодня среди молодёжи часто можно услышать, что все основные открытия в области естествознания уже сделаны. На самом деле множество явлений, объектов, законов ждут своих исследователей. Списки нобелевских лауреатов XXI в. по физике, химии, физиологии и медицине – яркое подтверждение этому.

Нобелевские лауреаты по химии XXI в.

2001 г.Уильям Ноулз (США), Рёдзи Ноёри (Япония), Барри Шарплесс (США) за исследования, используемые в фармацевтической промышленности – создание хиральных катализаторов окислительно-восстановительных реакций.

2002 г. Джон Фенн (США), Коити Танака (Япония) за разработку методов идентификации и структурного анализа биологических макромолекул и, в частности, за разработку методов масс-спектрометрического анализа биологических макромолекул; Курт Вютрих (Швейцария) за разработку применения ЯМР-спектроскопии для определения трехмерной структуры биологических макромолекул в растворе.

2003 г. Питер Эгр (США) за открытие водного канала; Родерик Маккинон (США) за изучение структуры и механизма ионных каналов.

2004 г. Аарон Чехановер (Израиль), Аврам Гершко (Израиль), Ирвин Роуз (США) за открытие убиквитин-опосредованной деградации белка.

2005 г. Роберт Граббс (США), Ричард Шрок (США), Ив Шовен (Франция) за вклад в развитие метода метатезиса в органическом синтезе.

2006 г. Роджер Корнберг (США) за исследование механизма копирования клетками генетической информации.

2007 г. Герхард Эртль (Германия) за изучение химических процессов на поверхностях твёрдых тел.

2008 г. Осаму Симомура (США), Мартин Чалфи (США), Роджер Тсьен (США) за открытие и развитие зелёного флуоресцентного белка.

2009 г. Венкатраман Рамакришнан (Великобритания), Томас Стейц (США), Ада Йонат (Израиль) за исследования структуры и функций рибосомы.

2010 г. Ричард Хек (США), Эйити Нэгиси (Япония), Акира Судзуки (Япония) за разработку новых, более эффективных путей соединения атомов углерода друг с другом с целью построения сложных молекул, которые улучшают нашу повседневную жизнь.

2011 г. Дан Шехтман (Израиль) за открытие квазикристаллов.

Нобелевские лауреаты по физике XXI в.

2001 г. Эрик Корнелл (США), Вольфганг Кеттерле (Германия), Карл Виман (США) за достижения в изучении процессов конденсации Бозе – Эйнштейна в среде разреженных газов и за начальные фундаментальные исследования характеристик конденсатов.

2002 г. Раймонд Дэвис мл. (США), Масатоси Косиба (Япония) за изыскания в области астрофизики, в частности за обнаружение космических нейтрино; Риккардо Джаккони (США) за изыскания в области астрофизики, которые привели к открытию космических источников рентгеновского излучения.

2003 г. Алексей Алексеевич Абрикосов (СССР, США), Виталий Лазаревич Гинзбург (Россия), Энтони Леггетт (Великобритания, США) за создание теории сверхпроводимости второго рода и теории сверхтекучести жидкого гелия-3.

2004 г. Дэвид Гросс (США), Дэвид Политцер (США), Фрэнк Вильчек (США) за открытие асимптотической свободы в теории сильных взаимодействий.

2005 г. Рой Глаубер (США) за вклад в квантовую теорию оптической когерентности; Джон Холл (США), Теодор Хенш (Германия) за вклад в развитие лазерного высокоточного спектроскопирования и техники прецизионного расчёта светового сдвига в оптических стандартах частоты.

2006 г. Джон Мазер (США), Джордж Смут (США) за открытие анизотропии и чёрнотельной структуры энергетического спектра космического фонового излучения.

2007 г. Альбер Ферт (Франция), Петер Грюнберг (Германия) за открытие эффекта гигантского магнетосопротивления.

2008 г. Ёитиро Намбу (Япония, США) за открытие механизма спонтанного нарушения симметрии в физике элементарных частиц; Макото Кобаяси (Япония), Тосихидэ Маскава (Япония) за открытие источника нарушения симметрии, которое позволило предсказать существование в природе по меньшей мере трёх семейств кварков.

2009 г. Чарльз Куэн Као (КНР, США) за выдающиеся достижения, касающиеся передачи световых сигналов в волокнах и развитие оптических систем передачи данных; Уиллард Бойл (США), Джордж Смит (США) за разработку оптических полупроводниковых сенсоров – ПЗС-матриц.

2010 г. Андрей Гейм (СССР, Нидерланды), Константин Новосёлов (Россия, Великобритания) за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена.

2011 г. Сол Перлмуттер (США) за открытие ускоренного расширения Вселенной посредством наблюдения дальних сверхновых.

Нобелевские лауреаты по физиологии и медицине XXI в.

2001 г. Леланд Хартвелл (США), Тимоти Хант (Великобритания), Пол Нерс (Великобритания) за открытие ключевых регуляторов клеточного цикла.

2002 г. Сидней Бреннер (Великобритания), Роберт Хорвиц (США), Джон Салстон (Великобритания) за открытия в области генетического регулирования развития человеческих органов.

2003 г. Пол Лотербур (США), Питер Мэнсфилд (Великобритания) за изобретение метода магнитно-резонансной томографии.

2004 г. Ричард Эксел (США), Линда Бак (США) за исследования обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния.

2005 г. Барри Маршалл (Австралия), Робин Уоррен (Австралия) за работы по изучению влияния бактерии *Helicobacter pylori* на возникновение гастрита и язвы желудка и двенадцатиперстной кишки.

2006 г. Эндрю Файер (США), Крейг Мелло (США) за открытие РНК-интерференции – эффекта гашения активности определённых генов.

2007 г. Марио Капекки (США), Мартин Эванс (Великобритания), Оливер Смитис (Великобритания) за открытие принципов введения специфических генных модификаций у мышей с использованием эмбриональных стволовых клеток.

2008 г. Харальд цур Хаузен (Германия) за открытие вируса папилломы человека, вызывающего рак шейки матки; Франсуаза Барре-Синусси (Франция), Люк Монтанье (Франция) за открытие ВИЧ.

2009 г. Элизабет Блэкбёрн (Австралия, США), Кэрол Грейдер (США), Джек Шостак (США) за открытие механизмов защиты хромосом теломерами и фермента теломеразы.

2010 г. Роберт Эдвардс (Великобритания) за технологию искусственного оплодотворения in vitro.

2011 г. Жюль Хоффман (Люксембург, Франция), Брюс Бётлер (США) за работы по изучению активации врождённого иммунитета; Ральф Стейнман (Канада, США) за открытие дендритных клеток и изучение их значения для приобретённого иммунитета.

Приложение

Памятки для ученика

Памятка № 1

Этапы поиска путей решения проблемы

1. Выявление проблемы (противоречия между старым и новым знанием, конфликта точек зрения, ситуации неопределенности).
2. Выдвижение гипотезы решения проблемы.
3. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
4. Подтверждение или опровержение гипотезы. При опровержении – выдвижение новой гипотезы.

Памятка № 2

Этапы работы над проектом. Цель проектной деятельности – создание нового материального или нематериального продукта

1. Выбор тематики.
2. Определение задач, которые необходимо решить для создания продукта.
3. Планирование деятельности по решению задач.
4. Работа над проектом.
5. Оформление результатов работы.
6. Презентация проекта.

Памятка № 3

Этапы проведения исследования. Цель исследовательской деятельности – создание нового знания

1. Выбор темы.
2. Определение задач, которые необходимо решить.
3. Выдвижение гипотезы, позволяющей решить поставленные задачи.

4. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.

5. Оформление результатов работы.

6. Защита работы.

Памятка № 4

Некоторые критерии оценки проекта и исследования

1. Значимость и актуальность темы.

2. Активность участников проекта, исследования.

3. Глубина проникновения в проблему.

4. Качество представления и оформления результатов.

5. Качество презентации.

Список рекомендуемых интернет-сайтов

http://bibliotekar.ru/CentrLyudi/index.htm/ Книга «Первобытные люди», авторы: Марджори и Чарльз Квеннелл

http://darwin.museum.ru/ Государственный Дарвиновский музей

http://ecologysite.ru/ Экологический портал. Каталог экологических сайтов

http://humbio.ru/ База знаний по биологии человека

http://interneturok.ru/ Видеоуроки

http://nauka.relis.ru/ Наука – это жизнь!

http://school-collection.edu.ru/catalog/ Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов

http://univertv.ru/video/biology/ Образовательный видеопортал

http://www.antropos.msu.ru/ Научно-исследовательский институт и музей антропологии им. Д. Н. Анучина

http://www.bio.msu.ru/ Биологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.biodat.ru/ Биоразнообразие. Красная книга РФ

http://www.chem.msu.ru/ Химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.ecfs.msu.ru/ Аграрный центр МГУ, Евразийский Центр по продовольственной безопасности

http://www.ecolife.ru/ Журнал «Экология и жизнь»

http://www.fbb.msu.ru/ Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.gbmt.ru/ru/index.php/ Государственный биологический музей им. К. А. Тимирязева

http://www.kunstkamera.ru/ Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН

http://www.med-gen.ru/ Медико-генетический научный центр РАМН

http://www.minzdravsoc.ru/ Министерство здравоохранения и социального развития РФ

http://www.mrsec.wisc.edu/Edetc/ «Исследование наномира»: образовательный сайт университета штата Висконсин (США)

http://www.nanometer.ru/ Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»

http://www.nanonewsnet.ru/ Сайт о нанотехнологиях № 1 в России

http://www.phys.msu.ru/ Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

http://www.planetarium-moscow.ru/ Большой планетарий Москвы

http://www.polymus.ru/ Политехнический музей

http://www.space-museum.ru/ Мемориальный музей космонавтики

notes

Примечания

1

Обратите внимание на интересную особенность языка. Греко-латинское слово «натурфилософия» можно с тем же успехом перевести как «природоведение», однако в современном русском языке последнее имеет приниженный характер и понимается как что-то любительское, в то время как «естествознание» звучит более научно.

2

Материал из курса физики для 7 класса

3

Слово происходит от глагола «сягать», т. е. доставать до чего-нибудь. Сажень – это, следовательно, расстояние, досягаемое рукой. В современном языке сохранились однокоренные слова «досягаемый» или «недосягаемый» и просторечное слово «сигануть».

Такой эталон можно установить либо усреднением величин многих отдельных измерений, либо указанием на какой-либо конкретный образец. Так, длина фута была уточнена при помощи установления длины меры «шток», которая определялась как «длина ступней 16 человек, выходящих от заутрени в воскресенье», а до сих пор используемый в США ярд был определён в Англии в 1101 г. как расстояние от носа короля до конца среднего пальца его вытянутой руки.

5

Существует и прямо противоположный по смыслу афоризм: «Красивые теории, как и красивые женщины, часто бывают неверными»

6

Напомним, что проекцией точки на ось называют расстояние от начала координат до пересечения оси с перпендикуляром, опущенным на неё из этой точки.

7

Мы уже знаем, что в физике реальные тела с их размерами заменяются материальными точками, которые «представляют их в физических формулах». В данном случае «представителем земного шара» служит его центр. Правильность расчётов и выводов от этого не меняется.

8

Напомним, что в физике различают только четыре агрегатных состояния вещества: твёрдое тело, жидкость, газ, плазма. Поэтому, как это ни странно звучит, даже самая мягкая верёвка является твёрдым телом.

9

Не следует путать с Фрэнсисом Бэконом, тоже англичанином, но жившим на триста лет позднее.

10

Возможно, вы слышали выражение «белый шум», относящееся к звуку и не имеющее никакого отношения к цвету. Причина такого странного названия в том, что в белом шуме, как и в белом свете, колебания с различными частотами присутствуют приблизительно в равных соотношениях. Такой спектр создаёт ощущение шума, не воспринимаемого как носитель какого-то смысла, и по аналогии с частотным составом света называется «белым».

Положительно заряженные ионы называются катионами, потому что они притягиваются к отрицательно заряженному электроду – катоду, а отрицательные анионы соответственно притягиваются к положительному электроду – аноду.

12

Давайте снова вообразим себе средневековую войну. Осаждённый в крепости гарнизон обороняется от штурма противника. Высота стены крепости 20 м. За ней на карнизе, расположенном на 1 м ниже верхнего края стены, располагаются защитники. В их распоряжении имеются тяжёлые валуны, которые они намереваются сбрасывать на головы осаждающих во время штурма. Для того чтобы сбросить такой валун, им приходится преодолевать энергетический барьер высотой в 1 м. (Если быть абсолютно точным, то энергия, требуемая для преодоления этого барьера, равна массе камня, умноженной на высоту подъёма и на ускорение свободного падения – 1mg.) Если затратить на подъём камня эту «энергию активации», то дальнейшая «реакция» (падение камня) будет протекать самопроизвольно с выделением энергии, количество которой будет составлять 20mg, т. е. выделившаяся в результате этой «реакции» энергия будет в 20 раз больше, чем затраченная на её активацию. «Катализатор» в виде какого-либо подъёмного приспособления, например рычага, может ускорить данную реакцию.

Подробнее об этом вы узнаете в 11 классе.

Само собой разумеется, что под небесной сферой понимают не какую-либо твёрдую, реальную, а воображаемую сферу. Радиус такой сферы является чисто условным понятием. Поэтому и расстояния на небесной сфере измеряются не в километрах, а в градусах.

15

Пять самых ярких звёзд: Сириус в созвездии Большого Пса, Канопус в Киле, альфа Центавра, Арктур в Волопасе и Вега в Лире.

16

То, что Земля имеет именно такую форму, доказал Ньютон. Он рассуждал так. Нужно прокопать две шахты: от полюса до центра Земли и от экватора до центра Земли. Эти шахты можно залить водой. Если Земля имеет форму шара, то глубина шахт будет одинаковой. Но в шахте, прокопанной от экватора, в отличие от полярной шахты, на воду действует центробежная сила. Поэтому для равновесия воды в обеих шахтах требуется, чтобы экваториальная шахта была длиннее.

17

Они получили своё название в честь мореплавателя Фернана Магеллана, организовавшего первое в истории кругосветное путешествие и обнаружившего эти «облака» во время плавания в Южном полушарии.

Следует сказать, что на этом процессы ядерного синтеза практически закончились, так как современная Вселенная на 3/4 состоит из водорода и на 1/4 – из гелия, а на долю всех остальных элементов приходится меньше 1 %.

19

Если бы гравитационная постоянная была ненамного больше существующей, увеличенная сила тяготения привела бы к сжатию звёзд, и они бы за короткое время стали белыми карликами, а затем – чёрными дырами. Если же эта постоянная была бы несколько меньше существующей, звёзды оказались бы сильно разреженными и не обладали бы достаточной температурой для протекания термоядерных реакций.

20

Этот поезд должен быть действительно очень быстрым, иначе все эффекты, связанные с теорией относительности, будут ничтожно малы. Обычно считается, что скорость «поезда Эйнштейна» составляет 240 000 км/с.

21

О кибернетике мы расскажем несколько позже.

22

От того же корня происходят слова «губернатор» и «гувернантка».

23

Метод чёрного ящика получил распространение, в частности, в психологии в концепции бихевиоризма. Бихевиоризм пытался исследовать поведение животных и психику человека, сопоставляя поступающие на органы чувств воздействия (стимулы) с двигательными, в частности речевыми, ответами (реакциями). Бихевиористы принципиально отказывались от изучения внутренних психологических звеньев, сводя поведенческие и психические процессы к однозначной жёсткой схеме «стимул – реакция».

24

Сравните с английским state – государство или немецким schtadt – город.